

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российский фонд фундаментальных исследований
Кузбасский научный центр Сибирского отделения Академии
инженерных наук имени А.М. Прохорова
Кемеровское региональное отделение САН ВШ
ОАО «Евраз – Объединённый
Западно-Сибирский металлургический комбинат»
ООО «Объединённая компания «Сибшахтострой»
ЗАО «Стройсервис»
ООО «Евразтехника»**

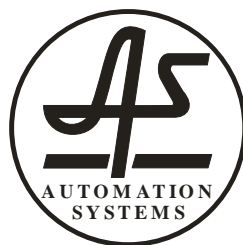
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ

AS' 2015

**ТРУДЫ X ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

(с международным участием)

17–19 декабря 2015 г.



**Новокузнецк
2015**

УДК 658.011.56
С 409

С 409 Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : Труды X Всероссийской научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – 516 с., ил.

ISBN 978-5-7806-0454-9

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам автоматизации управления технологическими процессами и предприятиями, социально-экономическими системами, образованием и исследованиями. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 15-07-21024.

ISBN 978-5-7806-0454-9

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2015

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Бурков В.Н. – д.т.н., профессор, зав. лабораторией ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН (г. Москва).
2. Ивушкин А. А. – д.т.н., генеральный директор ООО «Объединенная компания «Сиб-шахтострой» (г. Новокузнецк).
3. Кулаков С.М. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации и информационных систем СибГИУ.
4. Мышляев Л.П. – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем СибГИУ, директор ООО «Научно-исследовательский центр систем управления».
5. Новиков Д.А. – член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, заместитель директора ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН по научной работе (г. Москва).
6. Протопопов Е.В. – д.т.н., профессор, ректор СибГИУ.
7. Спирин Н.А. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой теплофизики и информатики в металлургии УГТУ-УПИ (г. Екатеринбург).
8. Хомченко В.Г. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации и робототехники ОмГТУ (г. Омск).
9. Шурыгин Ю.А. – д.т.н., профессор, директор департамента управления и стратегического развития, первый проректор ТУСУР (г. Томск).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Протопопов Евгений Валентинович – д.т.н., профессор, ректор СибГИУ – председатель.
2. Кулаков Станислав Матвеевич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации и информационных систем СибГИУ – зам. Председателя.
3. Мышляев Леонид Павлович – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем, директор ООО «НИЦ СУ» – зам. Председателя.
4. Ляховец Михаил Васильевич – к.т.н., доцент, директор Института информационных технологий и автоматизированных систем СибГИУ.
5. Евтушенко Виктор Федорович – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем СибГИУ.
6. Грачев Виталий Викторович – к.т.н., доцент кафедры АИС СибГИУ.
7. Киселева Тамара Васильевна – д.т.н., профессор, профессор кафедры прикладной информатики и программирования СибГИУ.
8. Татаринцов Александр Ефимович – начальник регионального центра эксплуатации АСУ ТП «Сибирь» ООО «Евразтехника».
9. Крестьянов Александр Геннадьевич – директор по ИТ региона «Сибирь» ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат».
10. Венгер Константин Геннадьевич – к.т.н., директор по кап. строительству и общим вопросам ЗАО «Стройсервис».
11. Островляничик Виктор Юрьевич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизированного электропривода и промэлектроники СибГИУ.
12. Чеченин Геннадий Ионович – д.м.н., заведующий кафедрой медицинской кибернетики и информатики ГБОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей».
13. Тараборина Елена Николаевна – к.т.н., доцент СибГИУ – ученый секретарь конференции.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ¹

Мышляев Л.П.¹, Ивушкин А.А.²

¹ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

²ОК «Сибшахтострой»,

г. Новокузнецк, Россия

Импортозамещение технологий, оборудования, программно-технических средств ставит ряд вопросов перед разработчиками систем автоматизации управления. В первую очередь это замена программно-технических средств автоматизации. Здесь необходимо освоение новых программно-технических комплексов, что требует их приобретения, «встраивания» в существующие полигоны для испытания и наладки средств и систем автоматизации, идентификации их характеристик в условиях, соответствующих применению в реальных системах управления. Во-вторых, необходима подготовка кадров проектно-исследовательских, монтажных и пуско-наладочных организаций, а так же персонала эксплуатации систем.

Из импортозамещения программно-технических средств должен вытекать вывод об «импортозамещении» разработчиков систем. Не следует, видимо, надеяться, что зарубежные разработчики будут отказываться от своих средств и переходить на наши отечественные программные и технические средства. Основная роль в этом вопросе должны отводиться правилам проведения конкурсов (тендеров) на выбор разработчиков систем. Неоднократно уже отмечалось, что регионы, где создаются крупные промышленные комплексы, должны играть решающую роль при определении победителей тендеров и отдавать предпочтение при прочих равных условиях своим, отечественным разработчикам. Это обусловлено экономическими соображениями (налоги остаются в регионе), обеспечением работой жителей региона, особенно привлекательной для молодежи инженерных специальностей (проектирование, программирование), повышение квалификации как разработчиков систем, так и преподавателей специальных образовательных учреждений.

Особенно необходимо обратить самое серьезное внимание на импортозамещение интеллектуальной составляющей, то есть алгоритмического и программного обеспечения систем автоматизации. Некоторые компоненты технического обеспечения заменить в короткие сроки весьма сложно. Алгоритмическое и программное обеспечение зачастую разрабатывается отечественными специалистами и превосходит зарубежные аналоги. Более того, именно создание отечественной интеллектуальной части систем управления позволяет избежать таких негативных явлений, как остановка промышленных комплексов по команде «извне», что уже неоднократно было, например, в угольной отрасли.

Интеграция зарубежных технических средств и отечественного программного обеспечения выдвигает задачу защиты интеллектуальной собственности. К сожалению, существующие положения о защите интеллектуальной собственности не позволяют осуществить это в полной мере. Это требует, конечно, совершенствование и практическую реализацию соответствующих законов.

Таким образом, создание систем автоматизации при импортозамещении влечет за собой обязательное решение задач: освоение новых программно-технических средств, подготовку и повышение квалификации кадров, совершенствование тендерных процедур и правил защиты интеллектуальной собственности.

¹ Работа поддержана грантом РФФИ по проекту № 15-07-02231.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ВЫБОРА СОСТАВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ *

Спирин Н.А.¹, Павлов А.В.², Онорин О.П.¹,
Рыболовлев В.Ю.², Краснобаев А.В.²

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

² ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

В настоящее время металлургические предприятия России работают при исключительной напряженности и нестабильности рынка железорудного сырья и коксующихся углей. В условиях рыночных отношений возрастает роль научно обоснованных решений, направленных на выбор поставщиков сырья для аглодоменного производства, решения комплекса технологических задач по определению оптимального состава доменных и агломерационных шихт, подбора рационального шлакового, дутьевого, газодинамического и теплового режимов доменной плавки.

Ряд доменных печей крупнейших металлургических предприятий работают как на привозном, так и местном железорудном сырье. При этом расходы и химические составы привозных железорудных материалов (например, окатышей), как правило, не поддаются управлению, а их базовые расходы определяются планированием поставок. Управление свойствами железорудной части доменной шихты осуществляется подбором состава агломерата местных фабрик. В связи с этим возникает проблема выбора поставщика железорудного сырья как для аглофабрик, так и доменных печей, определения оптимального состава местного агломерата.

Физическая постановка задачи заключается в следующем.

Требуется определить оптимальный состав и расходы компонентов доменной (агломерационной) шихты, выбрать дутьевые параметры, обеспечивающие рациональную производительность и расход кокса, нормальный шлаковый, дутьевой и газодинамический режим доменной плавки.

В основе решения задачи положены модели:

- сквозного расчета агломерационной и доменной шихт;
- расчета технико-экономических показателей доменной плавки (расхода кокса, производительности) при изменении дутьевых параметров, свойств кокса и состава железорудной части шихты;
- расчета свойств первичного и конечного шлака, обессеривающей способности конечного шлака и прогнозирования содержания серы в чугуне;
- моделирования газодинамического режима доменной плавки;
- диагностика хода доменной плавки.

Принципы построения, особенности конструирования, области применения и основные расчетные уравнения для подсистем модели шлакового, дутьевого и газодинамического и теплового режимов доменной плавки, процедуры адаптации этих подсистем подробно описаны в работах авторов [1–5].

Блок-схема структуры модели выбора оптимального состава железорудных компонентов шихт в аглодоменном производстве представлена на рисунке 1, из которого следует, что рассматриваемая система включает в себя две основные относительно независи-

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановление № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.А03.21.0006.

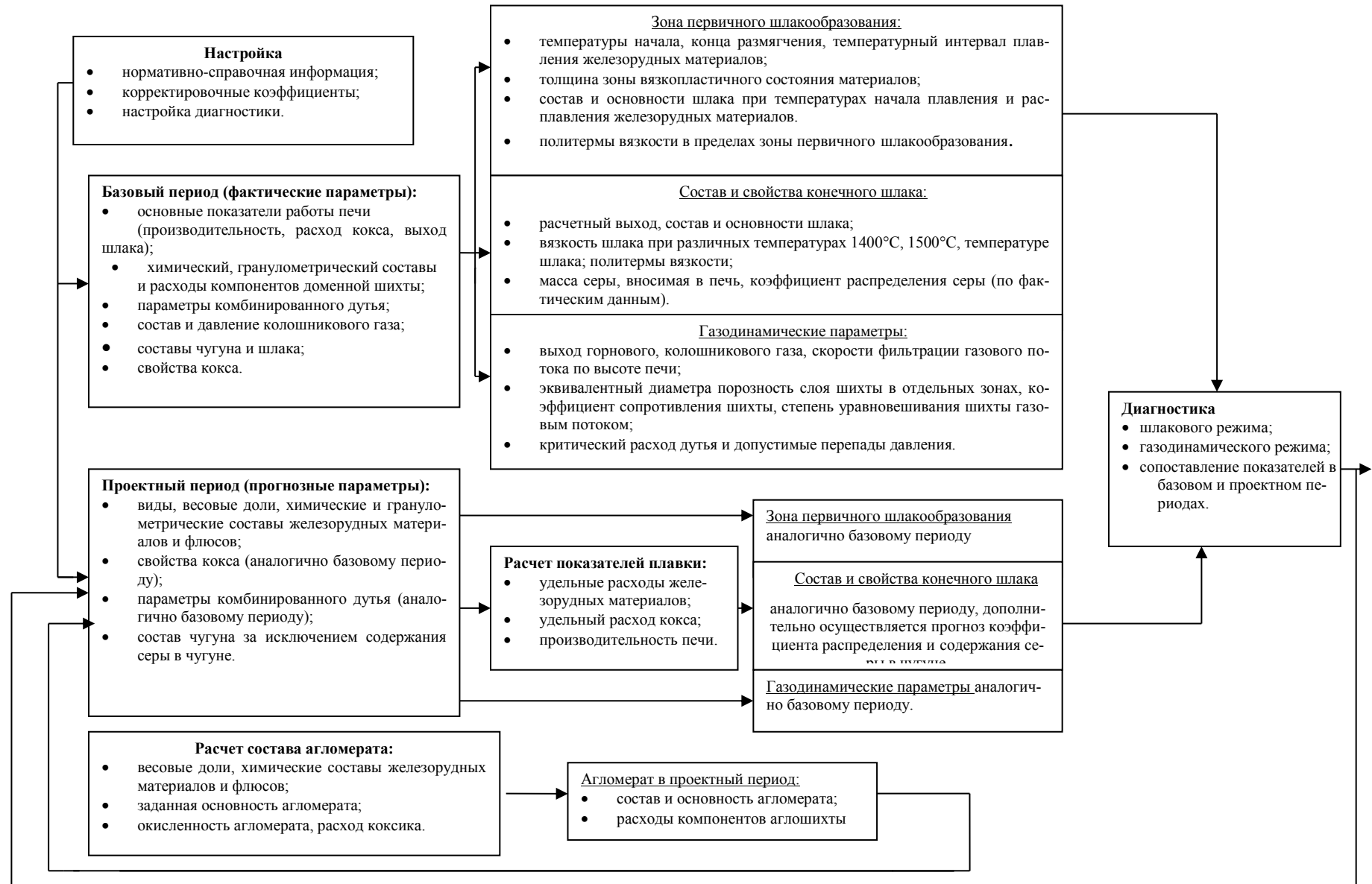


Рисунок 1 – Блок-схема структуры модели выбора оптимального состава железорудных компонентов шихты в аглодоменном производстве

мые, но взаимосвязанные подсистемы: доменный и агломерационный процесс. При этом выбираются два периода работы доменных печей.

Базовый период (аналог-стандарт) – служит базой сравнения при анализе и обобщении фактических показателей работы отдельных доменных печей и заводов. Информация о базовом периоде необходима для адаптации математической модели к реальным условиям работы печи и настройки модели.

Исходными данными для базового периода являются:

– основные показатели работы печи (производительность, расход кокса, выход шлака и др.);

– химический и гранулометрический составы и расходы всех компонентов доменной шихты;

– параметры комбинированного дутья;

– состав и давление колошникового газа;

– составы чугуна и шлака, температура чугуна;

– свойства кокса (прочность по M_{25} , истираемость по M_{10}), реакционная способность, горячая прочность, содержание фракций более 80 мм).

По фактическим показателям работы печи в базовом периоде рассчитываются параметры, характеризующие:

Зону первичного шлакообразования:

– температуры начала и конца размягчения, температурный интервал плавления железорудных материалов;

– распределение температуры материала в пределах нижней ступени теплообмена по методу, толщину зоны вязкопластичного состояния материалов;

– степень прямого восстановления оксидов железа, состав (FeO , SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO) и основности (CaO/SiO_2 , $(CaO+MgO)/SiO_2$, $(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)$) первичного шлака при температурах начала плавления и расплавления железорудных материалов.

– политермы вязкости (зависимость вязкости от температуры) первичного шлака в пределах зоны первичного шлакообразования.

Состав и свойства конечного шлака:

– расчетный выход (по балансу оксида кальция, балансу шлакообразующих элементов и т.п.), состав и основности шлака;

– вязкость шлака при различных температурах (1400 °С, 1500 °С, температуре шлака);

– активность серы в чугуне, парциальное давление монооксида углерода в горновом газе;

– масса серы, вносимая в печь и коэффициент распределения серы (по фактическим данным).

Газодинамический режим доменной плавки:

– выход горнового, колошникового газа, теоретическая температура горения на фурмах, скорости фильтрации газового потока по высоте печи и др.;

– эквивалентный диаметр кокса, железорудных материалов и шихты, порозность слоя шихты, коэффициент сопротивления шихты, степень уравнивания шихты газовым потоком и др.

– критические газодинамические параметры плавки (критический расход дутья, допустимые перепады давления).

Проектный период – период работы печи при планируемых при изменении состав и свойств шихтовых материалов, но не реализованных условиях. Для решения задач выбора оптимального состава доменной (агломерационной) шихты, подбора дутьевых параметров, оценки газодинамического и шлакового режимов доменной плавки вводятся следующие планируемые параметры:

– виды железорудных материалов, их химические составы, а также флюсов при целесообразности их ввода в доменную шихту;

– технический состав кокса и его золы, также свойства кокса (аналогично базовому

периоду);

- параметры комбинированного дутья;

- состав чугуна за исключением содержания серы в чугуне, определяемых расчетом;

Предусматривается многовариантность моделирования проектного периода. Основными из них являются следующие:

Проект 1. Прогнозирование производительности, расхода кокса, расходов железорудных материалов, свойств первичного и конечного шлака, газодинамических параметров плавки при заданных весовых долях и составах всех загружаемых в доменную печь железорудных материалов и флюсов.

Алгоритм расчета сводится к следующему:

- по заданным весовым долям железорудных рудных компонентов шихты находится средневзвешенный состав рудного материала;

- по балансу железа рассчитывается удельный расход средневзвешенного рудного материала с учетом выноса пыли, уноса материалов со шлаком, потерь чугуна со скрапом и шлаком, состава золы кокса, кг/т чугуна;

- на основе проектных параметров определяются удельный расход кокса и прогнозная производительность доменной печи. Удельный расход кокса и производительность печи для проектного периода определяются по соотношениям, представленным в работах [1–9];

- расчет комплекса параметров, характеризующих доменную плавку в проектном периоде, перечень которых соответствует базовому периоду:

- зону первичного шлакообразования, при этом дополнительно по сравнению с базовым периодом учитывается возможное изменение окисленности и восстановимости железорудной части шихты в проектном периоде;

- состав и свойства конечного шлака, при этом дополнительно по сравнению с базовым периодом осуществляется прогноз коэффициента распределения серы, содержания серы в чугуне;

- дутьевые и газодинамические параметры доменной плавки.

- осуществляется диагностика возможности реализации доменной плавки в проектном периоде, предусматривающая оценку:

- свойств конечного шлака по допустимым значениям вязкости при различных температурах, хода политейм вязкости с целью оценки их «короткости», допустимого содержания серы в чугуне;

- газодинамического режима плавки по допустимой степени уравнивания шихты, предельно допустимым значениям перепадов давления и расходу дутья;

- при невозможности обеспечения нормального шлакового и газодинамического режимов плавки, осуществляется итерационная процедура вычислений.

Проект 2. Корректировка работы доменной печи при изменении поставок, свойств железорудного сырья и кокса осуществляется составом одного из компонентов железорудной части доменной шихты, например местного агломерата. В отличие от предыдущего, в этом варианте осуществляется расчет при известных составах всех загружаемых материалов в доменную печь, за исключением местного агломерата. При этом корректировка шлакового и газодинамического режимов осуществляется составом (основностью) местного агломерата. В итоге расчета дополнительно определяется требуемый состав (расходы железорудных компонентов, коксика, флюсов) агломерационной шихты.

В основу решения этого варианта положена итерационная процедура:

- на первой итерации при изменившихся сырьевых и дутьевых условиях работы печи состав агломерата задается ориентировочно, например, по данным базового периода, и выполняется комплекс расчетов по алгоритму задачи «Проект 1»;

- если анализ полученных данных о работе доменных печей в проектном режиме (диагностика) указывает на нецелесообразность работы печи при изменившихся сырьевых и дутьевых параметрах, то корректируется состав агломерата путем изменения его задан-

ного состава и (или) основности;

– в дальнейшем выполняется расчет состава аглошихты и определяются расходы компонентов железорудной части аглошихты, известняка (или иного флюса). В основу расчета состава агломерата положена система уравнений материального баланса и основности агломерата. При этом, как показывает анализ расчетов, для выбора прогнозного состава агломерата при стратегическом планировании поставок сырья с приемлемой точностью моделирования расходом коксика и окисленность агломерата достаточно задавать априорно.

В общем случае, рациональный режим доменной плавки при изменении поставок железорудного сырья для доменных печей, железорудных компонентов аглошихты, а также при изменении свойств кокса обеспечивается многовариантной корректировкой:

- составом железорудной части агломерационной шихты;
- расходами флюсов (известняка, доломита) в агломерационную шихту;
- расходами флюсов (известняка, кварцита и т.п.) в доменную шихту;
- соотношением компонентов железорудной части доменной шихты;
- дутьевыми параметрами и параметрами комбинированного дутья;
- возможна любая комбинация указанных вариантов.

При разработке программного обеспечения использовались современные принципы проектирования и реализации пакетов прикладных программ для решения технологических задач в металлургии [4, 5]. Разработанный пакет прикладных программ реализован работает под управлением ОС WINDOWS, имеет широкие функциональные возможности с богатым развитым оконным и графическим интерфейсом, обладает хорошими характеристиками процесса счета (скорость процесса вычислений). Для анализа изменения показателей плавки, шлакового, дутьевого и газодинамического режима в проектный период относительно базового данные представлены на одной экранной форме с помощью кнопки «Сопоставление» Предусмотрены различные варианты функционирования пакета: как локального АРМ, в режиме интеграции с базами данных, а также возможен сетевой вариант функционирования пакета. Предусмотрены настройка пакета, при этом вызывается окно, в котором пользователь может производить изменение настроечных параметров пакета, а также изменять стиль представления диалоговых окон; печать отчетов – получение твердых копий по результатам расчета программы с возможностью их предварительного просмотра; экспорт данных в приложения MS Office, форматы HTML и RTF. Имеется возможность получения полной справочной информации по работе с программой.

Для определения показателей доменной плавки при увеличивающейся доле окатышей в шихте доменных печей ОАО «ММК» было выполнено 5 прогнозных вариантов расчета, в которых предусматривалось последовательное исключение из работы агломаши, выводимых на ремонт (таблица 1).

1 вариант – Базовый. Производство чугуна в доменном цехе на уровне 29000 т/сут. В качестве компонентов шихты используется агломерат основностью $B = \text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,50$ (63,8 % в железорудной части шихты), окатышей ССГПО – 25,1 %, Михайловского ГОКа – 8,3 % и Лебединского ГОКа – 2,1 %.

2 вариант. Предусмотрен вывода из аглопроизводства одной агломашины. Доля агломерата в этом случае снижается до 58,0 % с одновременным повышением его основности до $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,63$. Доля привозных железорудных окатышей возрастает: ССГПО – до 28,8 %, Михайловского ГОКа – до 10,4 %. Доля окатышей Лебединского ГОКа не меняется и составляет, как и в первом варианте 2,1 %.

3 вариант. Случай, когда из снабжения доменного цеха агломератом исключаются две агломашины. Доля производимого агломерата снижается еще в большей степени и составляет от общей доли железорудных материалов – 52,3 %. Основность производимого агломерата в этом варианте возрастает до $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,83$. Недостающее в этом случае железо компенсируется увеличением доли окатышей ССГПО – до 32,4 %. Доля окатышей Лебединского ГОКа остается прежней – 2,1 %.

Таблица 1 – Расчетные показатели доменной плавки в зависимости от содержания окатышей в шихте

| Параметр | Варианты расчета | | | | |
|---|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 | Вариант 5 |
| Расход железорудного материала, кг/т, в том числе: | 1605,9 | 1604,3 | 1601,9 | 1601,3 | 1604,7 |
| агломерат ММК | 1024,4 | 930,5 | 837,8 | 650,1 | 725,6 |
| Соколовские окатыши | 402,9 | 462,1 | 519,0 | 589,3 | 532,7 |
| Михайловские окатыши | 133,7 | 166,8 | 200,2 | 283,4 | 279,1 |
| Лебединские окатыши | 33,7 | 33,7 | 33,7 | 67,3 | 56,2 |
| Королек | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,1 |
| Содержание железа в железорудной части, % | 58,74 | 58,77 | 58,87 | 58,89 | 58,81 |
| Основность агломерата (CaO/SiO ₂) | 1,50 | 1,63 | 1,83 | 2,32 | 2,12 |
| Удельный расход кокса, кг/т чугуна | 439 | 439 | 438 | 437 | 438 |
| Производство чугуна, т/сутки | 29000 | 29000 | 29000 | 29000 | 26000 |
| Состав шлака, % | | | | | |
| (CaO) | 37,82 | 37,65 | 37,52 | 38,03 | 37,84 |
| (SiO ₂) | 37,63 | 37,59 | 37,42 | 37,97 | 37,87 |
| (Al ₂ O ₃) | 13,03 | 12,97 | 13,14 | 12,62 | 12,63 |
| (MgO) | 8,58 | 8,64 | 8,81 | 8,38 | 8,52 |
| (TiO ₂) | 1,05 | 1,09 | 1,07 | 1,07 | 1,08 |
| Выход шлака, кг/т чугуна | 313 | 311 | 306 | 302 | 305 |
| Вязкость шлака, пуаз при температуре 1550 °С | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,9 | 2,8 |
| Градиенты вязкости шлака в интервале 25–7 пуаз | 0,167 | 0,167 | 0,170 | 0,164 | 0,169 |
| Основность шлака | | | | | |
| CaO/SiO ₂ | 1,01 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| (CaO+MgO)/SiO ₂ | 1,23 | 1,23 | 1,24 | 1,22 | 1,23 |
| (CaO+MgO)/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 |
| Температура шлака при вязкости 25 пуаз, °С | 1310 | 1310 | 1312 | 1307 | 1309 |
| Температура шлака при вязкости 7 пуаз, °С | 1418 | 1418 | 1418 | 1416 | 1416 |
| Температура начала размягчения смеси ЖРМ, °С | 1168 | 1168 | 1169 | 1168 | 1169 |
| Температура расплавления смеси ЖРМ, °С | 1424 | 1428 | 1432 | 1437 | 1434 |
| Температурный интервал плавления смеси ЖРМ, °С | 256 | 260 | 263 | 269 | 266 |

4 вариант. Выполнен на случай вывода из производства 4 аглофабрики целом. Доля агломерата в шихте для этого случая снижается еще в большей степени и составляет 40,6 %. Основность производимого агломерата, увеличивается до CaO/SiO₂ = 2,32. Доля окатышей ССГПО увеличивается до 36,8 %, а доля окатышей Лебединского ГОКа увеличивается до 4,2 %.

5 вариант. Этот вариант предполагает вывод из производства 4 аглофабрики. Потребное производство чугуна снижено до 26000 т/сут. Установленная основность произво-

димого агломерата составляет для этого прогнозного варианта расчетов $\text{CaO/SiO}_2 = 2,12$. Доля такого агломерата в железорудной части шихты составляет 45,2 %: доля окатышей ССГПО составляет 33,2 %, Михайловского ГОКа – 17,4 %, Лебединского ГОКа – 3,5 %.

Анализ результатов выполненных расчетов доменных шихт показывает следующее.

– Получение необходимой концентрации MgO в доменном шлаке обеспечивается вводом в аглошихту Бакальского обожженного сидерита, а также использованием при спекании местного известняка, характеризующегося повышенным содержанием MgO.

– Получение требуемого содержания Al_2O_3 в доменном шлаке регулируется выбором соотношения окатышей ССГПО, Михайловского и Лебединского ГОКов.

– Все 5 вариантов для реализации доменной плавки с меняющейся долей неофлюсованных окатышей в шихте, связанной с выводом из производства одной и двух агломашин и 4 аглофабрики – реальны.

– Выбранное соотношение рудных компонентов аглошихты и соотношение железорудных материалов в доменной шихте обеспечивает требуемое содержание MgO и Al_2O_3 в конечном доменном шлаке, что гарантирует нормальное протекание шлакового режима плавки и его достаточную серопоглатительную способность.

– Выполненные расчеты показали, что при заданных значениях основности агломерата и принятых соотношениях железорудных компонентов в доменной шихте нет необходимости ввода в печь как кислых, так и основных флюсов.

Пакет прикладных программ можно рекомендовать для использования в системах модельной поддержки принятия решений инженерно-технологическим персоналом при выборе поставок сырья в аглодоменном производстве, выбора дутьевых им режимных параметров работы доменных печей в изменившихся сырьевых условиях.

Библиографический список

1. Онорин О.П. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / Онорин О.П., Спириин Н.А., Терентьев В.Л., Гилева Л.Ю., Рыболовлев В.Ю., Косаченко И.Е., Лавров В.В., Терентьев А.В./ Под ред. Спирина Н.А. Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
 2. Загайнов С.А. Современные принципы построения математической модели доменного процесса для решения технологических задач / С.А.Загайнов, О.П. Онорин, Н.А. Спириин, Ю.Г.Ярошенко // Изв. вузов. Черная металлургия. 2003. № 12. С. 3–7.
 3. Спириин Н.А. Информационные системы в металлургии // Н.А. Спириин, Ю.В.Ипатов, В.И.Лобанов [и др.]. Под ред. Спирина Н.А.Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
 4. Спириин Н.А. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]. Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
 5. Спириин Н.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП/ Н.А. Спириин, В.В.Лавров, В.Ю.Рыболовлев [и др.]. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014. – 558 с.
 6. Юсфин Ю.С. Металлургия чугуна: Учебник для вузов/Е.Ф.Вегман, Б.Н.Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин, И.Ф. Курунов, А.Е.Пареньков, П.И.Черноусов / Под ред. Ю.С. Юсфина.–М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
 7. Тваровский И.Г. Доменная правка. Монография – Днепропетровск, ПОРОГИ, 2009. – 768 с.
 8. Ченцов А.В. Балансовая логико-статистическая модель доменного процесса / А.В.Ченцов, Ю.А.Чесноков, С.В.Шаврин // М.: Наука, 1991. – 92 с.
- Вегман Е.Ф. Доменное производство: Справочное издание. Т.1 Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Е.Ф.Вегмана // М.: Металлургия, 1989. – 496 с.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАО «СТРОЙСЕРВИС»

Файрушин Ш.А., Леонтьев И.А., Венгер К.Г.

*ЗАО «Стройсервис»,
г. Кемерово, Россия*

Первый автоматизированный промышленный комплекс (АПК) ЗАО «Стройсервис» был построен в 2006 году. Это был АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки» (г. Гурьевск) на базе тяжелосреднего барабанного сепаратора. Генеральным проектировщиком АПК выступило ООО «Кузбассшахтостроймонтаж» (г. Новокузнецк). Проектная мощность АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки» составляет 1 млн. тонн угольного концентрата в год.

На АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки» используется самое современное оборудование отечественного и импортного производства. АПК включает в себя технологическое оборудование:

– транспортировки рядовых углей и разубоженной горной массы в обогатительную установку,

- мокрого обогащения рядовых углей,
- классификации концентрата и погрузки его в железнодорожные вагоны;
- отопления, вентиляции и аспирации.

Управление процессом обогащения АПК осуществляется в следующих режимах:

- «Дистанционный» (основной режим);
- «Местный» (наладочный, ремонтный режим).

В режиме «Дистанция» включение и выключение электрических приводов агрегатов технологической схемы осуществляется диспетчером АПК удаленно, при этом учитываются взаимные блокировки электрических приводов согласно жестко заданной технологической последовательности. В этом режиме реализованы возможности автоматического последовательного запуска/останова технологического оборудования АПК, процедуры аварийного и экстренного останова АПК.

Управление в «Местном» режиме осуществляется с местных постов управления агрегатами, установленными вблизи технологического оборудования. Данный режим предназначен для проведения наладочных и ремонтно-профилактических работ. Технологические блокировки электрических приводов и автоматического аварийного останова в режиме «Местный» отсутствуют.

Во всех режимах работы АПК осуществляется световая и звуковая сигнализация состояния агрегатов, аварийных ситуаций, регистрация технологических величины на пультах диспетчера и операторов, предупредительная сигнализация по месту расположения оборудования.

Управление АПК в режиме «Дистанция» осуществляется диспетчером с помощью активных мнемосхем технологического комплекса (рисунки 1, 2), построенных на базе SCADA-системы CX-Supervisor корпорации Omron (Япония).

Предусмотрены следующие формы представления информации диспетчеру:

- цветографическое отображение агрегатов в технологической схеме;
- цветовая индикация текущих состояний каждого из компонентов мнемосхемы;
- текстовые сообщения, конкретизирующие причины, по которым компонент системы имеет тот или иной цвет мнемонического изображения;
- текстовые сообщения, предупреждающие о невозможности реализации тех или иных команд управления при выбранных режимах управления АПК;

- текстовые сообщения, предупреждающие о необходимости выполнения тех или иных действий, предусмотренных регламентом функционирования системы;
- списки аварий и неготовности пускового и технологического оборудования;
- списки событий по каждому компоненту АПК, включая все сигналы от периферийных устройств, кнопочных постов и пультов операторов);
- графическое отображение в виде графиков (трендов) измеренных аналоговых величин.

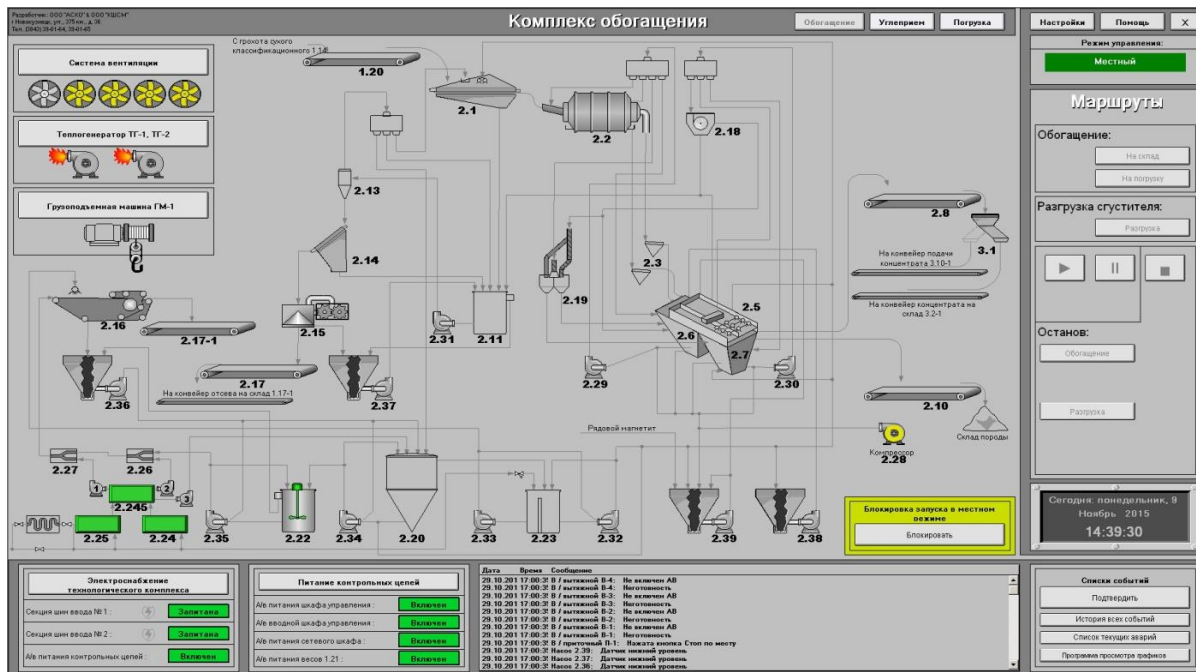


Рисунок 1 – Основная мнемосхема «Комплекс обогащения» диспетчера АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки»

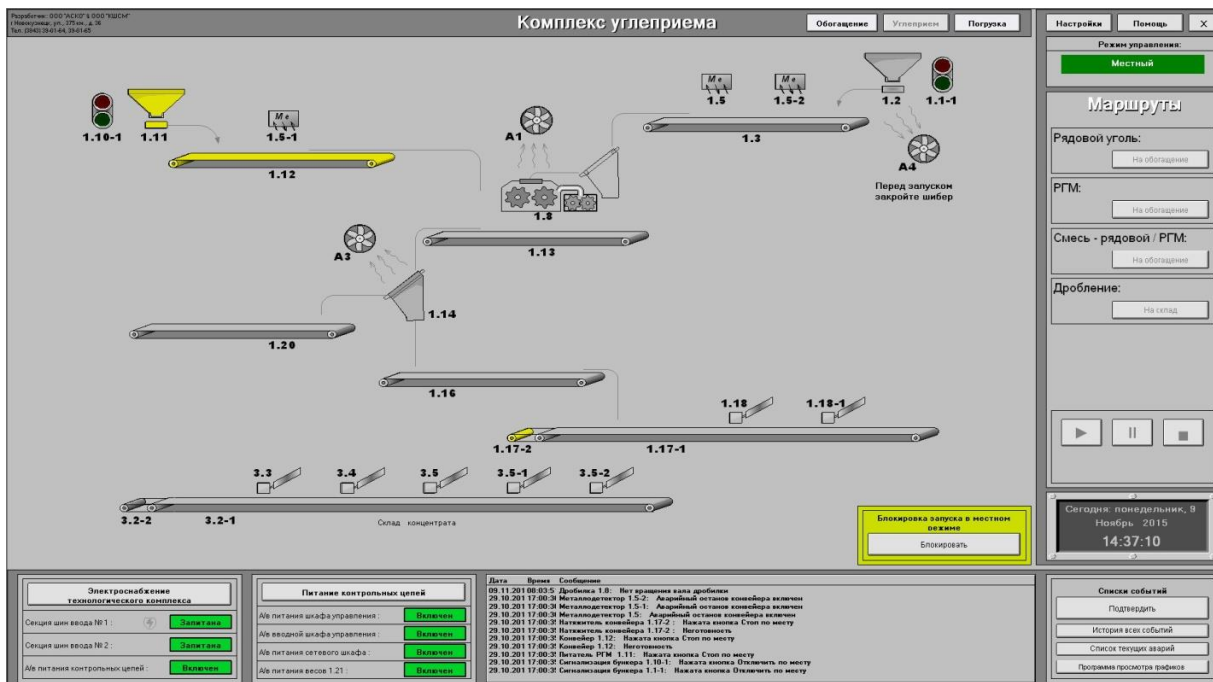


Рисунок 2 – Дополнительная мнемосхема «Комплекс углеприема» диспетчера АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки»

Изображения технологических агрегатов на мнемосхеме диспетчерской станции изменяют свой цвет в зависимости от состояния:

- красный цвет: авария агрегата, опасное состояние;
- желтый цвет: предупреждение, неготовность агрегата к работе, ремонт агрегата;
- синий цвет: пуск агрегата, перемещение задвижки, закрытие (открытие) клапан;
- зеленый цвет: работа агрегата, клапан открыт/закрыт;
- серый цвет: готовность агрегата к работе;
- лиловый цвет: неисправность измерительного канала.

В АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки» реализована система ведения истории аварий и событий, которая содержит в себе 5000 последних сообщений. Сообщения непрерывно пополняются, при этом более старые по дате записи стираются. Все сообщения могут храниться очень длительное время, даже при отключенном компьютере.

Для облегчения восприятия информации при сравнении аналоговых показателей работы оборудования реализована система построения графиков (трендов) аналоговых сигналов. Система построения графиков позволяет просматривать как текущие, так и исторические значения параметров. Графики отображаются в виде разноцветных линий. Полоса прокрутки графиков по временной шкале позволяет прокручивать график вперед и назад, вдоль временной оси, устанавливая окно на заданный период.

Ввод в эксплуатацию АПК позволил создать единый горно-обогащительный комплекс с добычей рядового угля и отгрузкой его потребителям уже в форме высококачественного угольного концентрата зольностью 8,5 %. Концентрат АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки» предназначен для потребителей коксохимической промышленности и энергетики как в России, так и за ее пределами. Применяемые технологические решения дают возможность исключить потери угля и практически на 100 % использовать добываемые ресурсы. Наличие замкнутого водно-шламового цикла и отсутствие внешних гидротехнических сооружений делает фабрику экологически чистым производством. АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки» стал примером эффективного решения проблемы углеобогащения для предприятий средней мощности – с добычей порядка 1 млн. тонн угля в год.

Следующим примером успешного внедрения ЗАО «Стройсервис» стал АПК обогащения угля ООО СП «Барзасское товарищество» (г. Березовский), построенный и запущенный в эксплуатацию в 2008 – 2009 годах.

При создании I очереди АПК обогащения угля ООО СП «Барзасское товарищество» были реализованы следующие решения по автоматизации:

- автоматизированное выполнение регламентированных процедур пуска и останова технологического и вспомогательного оборудования;
- автоматический контроль, диагностика и анализ состояния технологического и пускового оборудования;
- комплексное и детализированное отображение информации о состояниях и параметрах технологического оборудования и процессах, связанных с подготовкой к обогащению и сам процесс обогащения рядовых углей;
- регистрация и хранение информации о состояниях и параметрах оборудования, питающего напряжения и действиях технологического персонала;
- вывод на печать текущей и архивной информации.

В 2009 году руководством ЗАО «Стройсервис» принято решение о проектировании и начале строительства II очереди АПК обогащения угля в рамках проекта «Реконструкции технологического корпуса погрузки угля разреза «Барзасский» ООО СП «Барзасское товарищество» на станции «Барзасская».

В рамках данного проекта была спроектирована и реализована система автоматизации управления обогащением мелкой фракции рядового угля 0 – 13 мм. Раньше эта фракция не участвовала в технологическом процессе обогащения, а выделялась в виде необогащенного отсева.

Перед проектировщиками стояла сложная задача. Необходимо было обеспечить наиболее полное интегрирование АПК обогащения угля I очереди с АПК II очереди, в частности обеспечить унификацию технических и аппаратных средств II очереди с системами I очереди.

Технологическую связь между устройствами нижнего уровня – контроллерами технологических комплексов I и II очереди (передача команд, признаков, блокировок) было решено организовать на базе существующей контроллерной сети Controller Link I очереди АПК, реализованной на кабеле витая пара. Для диагностики и настройки устройств защитного отключения, планового пуска и частотного регулирования было принято решение реализовать подключение по существующим интерфейсным каналам связи к серверам АПК I очереди.

Технологическую связь между устройствами нижнего и верхнего уровня – контроллерами II очереди и диспетчерской системой I очереди было решено организовать на базе существующей сети Ethernet I очереди АПК, реализованной на оптическом кабеле.

Диспетчерская система I очереди АПК, построенная на базе SCADA-системы Iconics Genesis корпорации Iconics (США), была рассчитана на расширение при реализации II очереди АПК обогащения угля.

В качестве интерфейса с диспетчером реализована активная мнемосхема промышленного комплекса, соответствующая технологической схеме (рисунок 3).

Разработанные компоненты среды управления и отображения II очереди АПК без особых проблем были интегрированы в существующий проект SCADA-системы I очереди и привязаны к существующему АРМ диспетчера.

Эта непростая задача была успешно выполнена специалистами ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк) и ООО ОК «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк).

Строительство II очереди АПК обогащения угля на ООО СП «Барзасское товарищество» позволило увеличить производительность всего промышленного комплекса с 1,0 млн. тонн до 1,5 млн. тонн в год по переработке рядовых углей. Это привело к существенному увеличению выпуска товарной продукции, что благоприятно сказалось на экономической и финансовой ситуации ООО СП «Барзасское товарищество» и в целом по ЗАО «Стройсервис».

Следующим шагом ЗАО «Стройсервис» было проектирование и строительство АПК по обогащения угля ООО «Разрез «Березовский» (г. Прокопьевск), получившим название ОФ «Матюшинская». Реализация проекта началась в 2010 году и закончилась в августе 2012 года.

Проектная мощность ОФ «Матюшинская» по переработке рядовых углей составляет 3,0 млн. тонн в год с номинальной часовой производительностью 500 тонн в час.

Технология АПК позволяет обогащать рядовые угли до 0,0 мм. без использования наружных шламовых отстойников, что благоприятно влияет на экологическую обстановку населенных пунктов расположенных вблизи территории обогатительной фабрики.

В качестве обогатительных методов на фабрике применяются тяжелосредные методы обогащения в колесном сепараторе и гидроциклонах, флотация и гравитационное обогащение в спиральных сепараторах.

Технологический комплекс фабрики, как объект управления характеризуется следующими основными особенностями:

- многостадийность технологических процессов обогащения рядовых углей, реализуемых с использованием большого количества технологических агрегатов, оборудования и транспортных связей между ними;

- технологические обратные связи (рециклы) как внутри, так и между стадиями обогащения, существенно усложняющие динамические свойства технологического процесса,

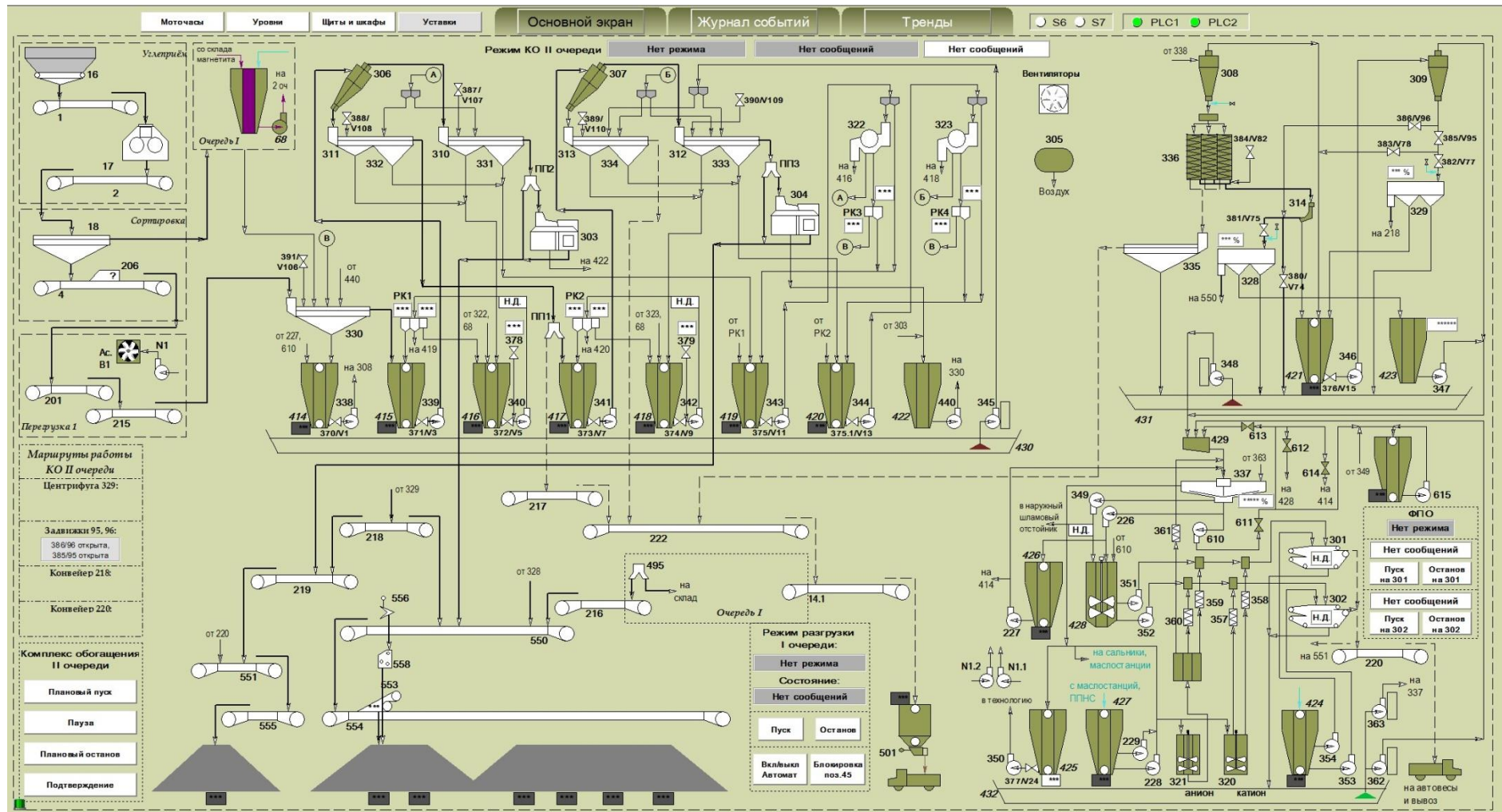


Рисунок 3 – Основная мнемосхема диспетчера АСК обогащения угля ООО СП «Барзасское товарищество»

как объекта управления;– возможность целенаправленного измерения структуры объекта управления (технологической схемы обогащения АПК) путем включения (исключения) в технологические цепи отдельных агрегатов и секций технологических комплексов;

– технологический процесс подвержен влиянию нестандартных координатных и параметрических возмущающих воздействий, обусловленных изменениями зольности, влажности и минералогии поступающих на обогащение рядовых углей, изменениями характеристик технологического оборудования;

– координатное управление технологическим процессом на любой из его стадий осуществляется по нескольким управляющим входам с существенно различающейся динамикой влияния управляющих воздействий на управляемые выходные переменные и параметры состояния;

– результатом технологического процесса АПК являются, как минимум, два продукта – концентрат и отходы. Изменение содержания золы в концентрате и полезного продукта (угля) в отходах имеют тесную взаимосвязь, а именно: уменьшение зольности концентрата сопровождается потерями угля и снижения зольности отходов и наоборот. Изменение зольности концентрата и отходов оказывает влияние на технико-экономические показатели процессов обогащения.

При управлении АПК по обогащения угля ООО «Разрез «Березовский» выделяют две основные группы задач.

Первая группа задач связана с контролем и управлением состоянием оборудования и агрегатов, образующих поточно-транспортные системы отдельных технологических комплексов и АПК в целом. Задачи первой группы достаточно тривиальны с точки зрения автоматизации управляющих функций, но их реализация наиболее затратная, в связи с объемом задач из-за большого количества оборудования и агрегатов.

Вторая группа задач связана с согласованным управлением технологическими комплексами по отдельным стадиям и АПК в целом.

Функциональная схема АПК по обогащения угля ООО «Разрез «Березовский» (рисунки 4) состоит из:

- системы централизованного сбора, обработки и хранения информации;
- системы автоматизации управления производственными процессами ОФ (САУП);
- системы инженерного сопровождения;
- системы автоматизации управления технологическим комплексом (САУ ТК).

В качестве программно-аппаратной базы АПК по обогащения угля ООО «Разрез «Березовский» использовано оборудование и программно-технические средства корпорации Schneider Electric (Франция).

Реализованная на ОФ «Матюшинская» система автоматизации управления позволила успешно решить все поставленные перед ней задачи, связанные с автоматизацией производственных процессов технологических комплексов.

В настоящее время ОФ «Матюшинская» является самой новой и современной обогатительной фабрики в семействе углеперерабатывающих предприятий ЗАО «Стройсервис» как по методам обогащения, подбору технологического и вспомогательного оборудования, так и по применяемой на фабрике системе автоматизации управления.

Генеральным проектировщиком основных строительных и технологических решений выступил ЗАО «Гипроуголь» (г. Новосибирск), а проектировщиком раздела проектной документации в части «Систем автоматизации управления технологическим комплексом обогатительной фабрики» выступило уже известное нам по другим проектам ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк).

Сегодня, по прошествии почти 8 лет со дня внедрения первого АПК – АПК обогащения угля ОАО «Разрез «Шестаки», предприятия компании ЗАО «Стройсервис» не стоят на месте в развитии своих систем автоматизации управления.

Так, например, на ОФ «Матюшинская» в сентябре 2015 года была введена в эксплуатацию автоматизированная система учета количества материальных потоков (концентрата)

на конвейерах подсева, предназначенной для учета количества возвращаемого продукта с узла сухой классификации перед погрузкой в ж/д вагоны.

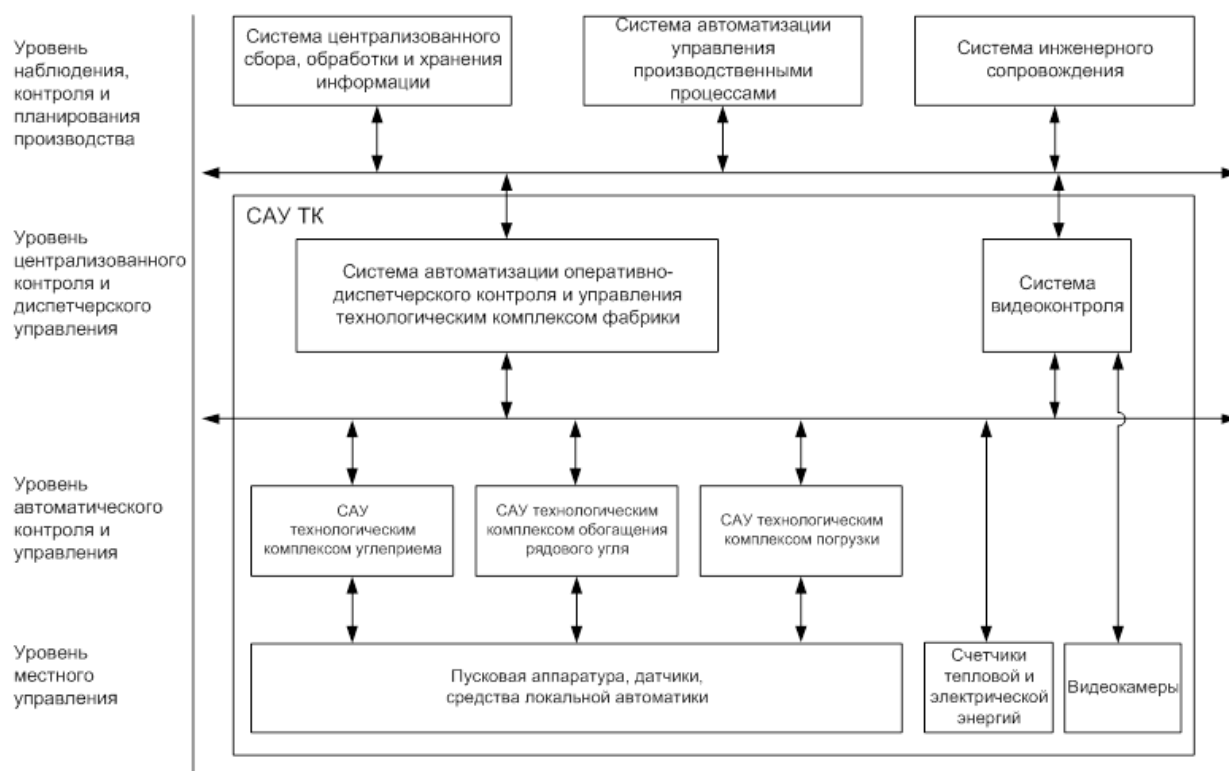


Рисунок 4 – Функциональная схема АПК по обогащению угля ООО «Разрез «Березовский»

К концу 2015 года будет запущена в работу система автоматизации управления дозированием угольного концентрата на укрытом складе товарной продукции, предназначенная для создания многомарочной шихты (смеси) угольных концентратов перед погрузкой в ж/д вагоны по желанию потребителей.

Также на ОФ «Матюшинская» в ближайшее время планируется реализовать:

- проект автоматизации управления флотацией шламов путем установки дополнительного оборудования и повышения точности измерения расхода флотореагентов в существующей автоматизированной системе дозирования. Цель модернизации – снижение расхода флотореагентов и повышение эффективности процесса флотации;

- проект автоматизации управления сгущением шламов в радиальных сгустителях в зависимости от количества твердого вещества, попадающего в радиальные сгустители. Цель модернизации – снижение расхода флокулянтов и повышение эффективности процесса сгущения;

- проект автоматизации управления обезвоживанием шламов на фильтр-прессах. Цель модернизации – снижение расхода флокулянтов.

Среди перспективных направлений развития существующего АПК обогащения угля ООО СП «Барзасское товарищество» можно отметить создание в 2016 году:

- автоматизированной системы управления по поддержанию рабочей плотности тяжелосредней сепарации при обогащении рядовых углей в тяжелосреднем сепараторе и гидроротационных. Цель модернизации – снижение расхода железорудного концентрата;

- автоматизированной системы управления обогащением на винтовых (спиральных) сепараторах. Цель модернизации – оптимизация процесса гравитационного разделения угольных частиц по плотности и повышение выхода концентрата.

В ближайшей перспективе компания ЗАО «Стройсервис» ставит перед собой цели по автоматизации технологических процессов не только обогащения рядового угля, но и при его добыче открытым способом на горных участках, по развитию железнодорожной инфраструктуры прилегающего путевого хозяйства.

О ТЕОРИИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Медведев А.В.

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени ак. М.Ф. Решетнева,
г. Красноярск, Россия*

Доклад посвящен теории непараметрических систем, принципиальной отличающейся от традиционной параметрической уровнем априорной информации. В этой связи считаю целесообразным привести высказывание из статьи Ю.И. Параева [1]: «Возможны также варианты, когда имеется полная неопределенность относительно математического описания объекта и свойств случайных воздействий. В этих случаях также можно говорить об оптимальном управлении таким объектом. Но как точно математически сформулировать подобную задачу – в настоящее время не ясно... Следовательно, задача построения управления объекта в подобных ситуациях требует для своего решения других методов, отличных от методов теории оптимального управления». Здесь речь шла о методах теории управления, соответствующих различным уровням априорной информации. В это же время появляются работы по теории адаптивных систем [2, 3], где предлагается возможный путь решения задач идентификации и управления, как это было названо позже, в условиях непараметрической неопределенности, т.е. когда математическое (параметрическое) описание объекта не известно. Этот путь привел к становлению теории непараметрических систем и позволил рассматривать новые типы процессов, которые не были ранее предметом исследования в теории управления. Ниже приведем некоторые классы новых процессов и алгоритмы управления ими.

Н-процессы. На практике достаточно часто встречаются процессы, имеющие стохастическую зависимость между компонентами вектора как входных, так и выходных переменных. При этом ни характер, ни структура этой зависимости неизвестны. Процессы, обладающие подобной особенностью, мы называем «трубчатыми» или Н-процессами.

Первое упоминание о процессах «трубчатой» структуры (Н-процессах) появляется в [4]. Эти процессы были замечены при моделировании технологических процессов в металлургии. Было обнаружено, что компоненты вектора входа исследуемого процесса связаны стохастической зависимостью, вследствие чего процесс протекает не во всей области, установленной технологическим регламентом предприятия, а лишь в некоторой его подобласти. В этих условиях процессы моделирования и управления требуют специального внимания.

Итак, пусть $x(t) \in \Omega(x) \subset \mathbb{R}^1$ – выходная переменная процесса, $u(t) = \{u_i(t), i = \overline{1, m}\} \in \Omega(u) \subset \mathbb{R}^m$ – входное воздействие. Измеряя значения «входных-выходных» переменных через интервал времени Δt , получим обучающую выборку $\{x_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$, где s – объем выборки. Обратим внимание на одно важное обстоятельство – компоненты вектора входных переменных $u(t)$ связаны некоторой стохастической зависимостью. Рассмотрим рисунок 1, на котором показан процесс «трубчатой» структуры. Трехмерный случай выбран из соображений простоты.

Как видно из рисунка, область протекания процесса $\Omega(u, x)$ представляет собой, без нарушения общности, единичный куб. Область протекания процесса $\Omega(u, x)$ на практике известна всегда. Однако если исследуемый процесс имеет «трубчатую» структуру, то есть его входные переменные связаны между собой стохастической зависимостью, то область его протекания ограничивается не только пространством гиперкуба $\Omega(u, x)$, но и некоторой его подобластью $\Omega^H(u, x) \subset \Omega(u, x)$, которая нам никогда не известна. Поскольку подобласть $\Omega^H(u, x)$ не известна, то и точно сказать о том, что исследуемый объект обладает данной особенностью, мы не можем. В этом заключается основная сложность моделирования подобного рода процессов.

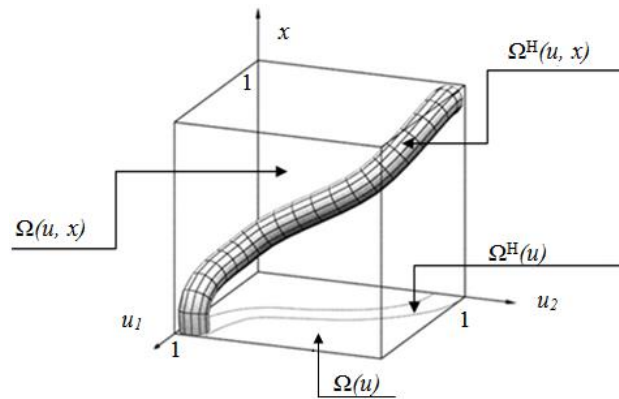


Рисунок 1 – Процесс «трубчатой» структурой

Многочисленные столкновения с реальностью убеждают нас в том, что многие окружающие нас процессы в различных технологиях, природных явлениях, в том числе физиологические, социальные процессы и другие относятся к классу Н-процессов. Подобный класс процессов может быть отнесен к категории новых с точки зрения теории идентификации. Дальнейший анализ Н-процессов и особенно их моделирование приводит к тому, что они протекают в пространстве дробной размерности, более того, в пространстве изменяющейся размерности. Следует заметить, что Н-процессы существовали всегда, но в теории идентификации и управления им не уделялось достаточного внимания.

T-процессами назовем процессы, происходящие в безынерционных системах с запаздыванием, когда компоненты вектора выходных переменных стохастически зависимы. Соответственно, *T-моделями* назовем модели, описывающие Т-процессы. Т-процесс можно проиллюстрировать на нижеследующем рисунке, где $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t))$ – входные переменные процесса, $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ – выходные переменные процесса.

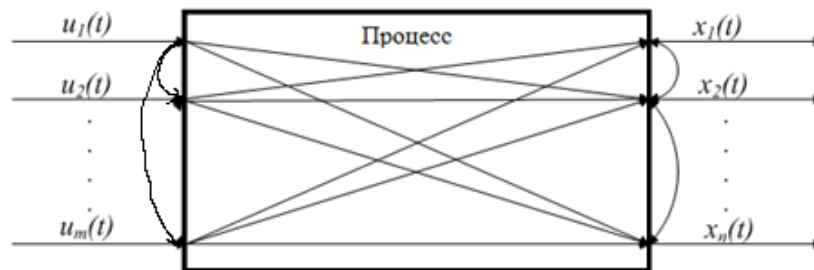


Рисунок 2 – Н- и Т-процессы

На рисунке 2 линиями показаны каналы возможных связей между переменными, а дугообразные стрелки иллюстрируют возможную зависимость между компонентами вектора входных переменных. В этом случае Т-модель может быть представлена в виде системы уравнений:

$$\hat{f}_i(u^{(i)}(t-\tau), x^{(i)}(t)) = 0, \quad i = \overline{1, k} \quad (1)$$

или в дискретном времени

$$\hat{f}_i(u^{(i)}_{t-\tau}, x^{(i)}_t) = 0, \quad i = \overline{1, k} \quad (2)$$

где $u^{(i)}, x^{(i)}$ составные векторы, т.е. векторы, составленные из некоторых компонент u и x , например $x_t^{(1)} = (x_t^1, x_t^3, x_t^5)$, а $u_t^{(3)} = (u_t^1, u_t^4, u_t^5)$.

Принципиальным здесь является то, что Т-модель является системой взаимосвязанных уравнений, а это означает, что при заданных значениях входной переменной $u(t)=u^*(t)$ необходимо для прогноза выходных переменных $x(t)$ решить систему уравнений типа (1) или (2). В итоге, говоря языком математического анализа, мы приходим к некоторым аналогиям с системами неявных функций. Мы оставляем в стороне вопросы, связанные с нахождением вида функции $\hat{f}_i(u^{(i)}(t-\tau), x^{(i)}(t)) = 0, i = \overline{1, k}$. В этом случае задача идентификации может рассматриваться как в условиях параметрической неопределенности, так и непараметрической [5]. Там же приведены примеры решения систем уравнений, представляющих собой Т-модели, для случая, когда некоторые каналы (см. рисунок) описываются параметрическими уравнениями, а другие – непараметрическими статистиками.

Н-Модели. При построении моделей статических безынерционных процессов с запаздыванием, которые могут быть представлены в виде $x(t)=A(u(t))$. При построении модели подобного процесса чаще всего используют параметрические модели типа $x_\alpha(t)=A^\alpha(u(t), \alpha)$, где A^α – параметрическая структура модели, а α – вектор параметров.

Однако, при работе с процессами «трубчатого» типа подобные алгоритмы часто дают грубые, не точные результаты. Для некоторых значений входных переменных процесса $u \in \Omega(u) \subset R^m$, которые одновременно удовлетворяют условию $u \notin \Omega^H(u)$, мы можем получить оценки $x_\alpha \notin \Omega^H(u, x)$ или вовсе $x_\alpha \notin \Omega(u, x)$.

При моделировании подобных процессов необходимо использовать новый класс моделей, генетически объединяющий как параметрические, так и непараметрические составляющие, а точнее параметрические методы и методы локальной аппроксимации

$$\hat{x}(t) = G(u(t), \alpha, \bar{u}_s, \bar{x}_s), \quad (3)$$

где $G(\cdot)$ – некоторый функционал, \bar{u}_s, \bar{x}_s – временные векторы, $\bar{u}_s = (\bar{u}_1^s, \bar{u}_2^s, \dots, \bar{u}_m^s) = (u_1^1, u_1^2, \dots, u_1^s, u_2^1, u_2^2, \dots, u_2^s, \dots, u_m^1, u_m^2, \dots, u_m^s)$. По существу, (3) объединяет идеи параметрической и локальной аппроксимации. Последние являются «родителями» модели класса (3).

В частности, при моделировании подобных процессов необходимо ввести индикаторную функцию $I(u)$: $\hat{x}_\alpha(t) = I(u)A^\alpha(u(t), \alpha)$, где индикатор $I(u)$ имеет вид:

$$I(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \in \Omega^H(u), \\ 0, & \text{если } u \notin \Omega^H(u). \end{cases} \quad (4)$$

Рассмотрим пример, когда $x(u) = f(u_1, u_2, u_3)$. В случае стохастической зависимости между переменными $u_2(u_1), u_3(u_1)$ по имеющимся в наличии обучающим выборкам можно вычислить квадратичную ошибку прогноза $u_{2s}(u_1), u_{3s}(u_1)$. Здесь $u_{2s}(u_1), u_{3s}(u_1)$ есть непараметрические оценки [5]. Выпишем одну из них:

$$\delta_{21} = \sum_{i=1}^s (u_2 - u_{2s}(u_1))^2 / \sigma_{u_2}^2 \quad \text{либо} \quad \delta_{31} = \sum_{i=1}^s (u_3 - u_{3s}(u_1))^2 / \sigma_{u_3}^2, \quad (5)$$

где δ_{21} и δ_{31} – квадратичные ошибки, полученные при непараметрическом восстановлении принятых зависимостей. При наличии функции многих переменных могут быть приняты и другие варианты зависимостей одних компонент вектора входа от других. Возвращаясь к предыдущему примеру, «силу» стохастической связи λ между двумя произвольными переменными можно, например, вычислить по формуле: $\lambda_{21} = 1 - \delta_{21}$.

Отсюда видно, что самая сильная стохастическая связь (функциональная) равна 1, отсутствие связи при $\lambda=0$, а при наличии стохастической зависимости между входными переменными $0 < \lambda < 1$.

Если в более общем случае такого рода процесса интерпретировать как функции многих переменных, то изменчивость этой функции во времени может быть, например, показана на нижеследующей цепочке соотношений действующих во времени.

$$\begin{aligned}
 x &= f(t, u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t)), t \in [t_0, t_1] \\
 x &= f(t, u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t)), t \in [t_1, t_2] \\
 x &= f(t, u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t), u_6(t)), t \in [t_2, t_3] \\
 x &= f(t, u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t), u_6(t)), t \in [t_4, t_5] \\
 x &= f(t, u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t), u_6(t), u_7(t)), t \in [t_5, t_6] \\
 x &= f(t, u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t), u_6(t), u_7(t)), t \in [t_7, t_8]
 \end{aligned} \tag{6}$$

Поясним наши обозначения. Наиболее темным цветом (u_1) обозначены переменные, которые оказывают самое сильное влияние на x (возможно, функциональная зависимость). Менее темное обозначение (u_1) говорит о более слабом влиянии переменной на x (возможно, стохастическая зависимость), более слабое влияние на x оказывают u_1 и u_1 . Таким образом, в реально действующих процессах подобного рода роли значения переменных существенно изменчивы. Из приведенных выше зависимостей видно, что некоторые переменные могут утрачивать свое значение, а некоторые утрачивают, а потом восстанавливаются, а некоторые новые переменные появляются впервые, как например u_6 , u_7 .

Если сохранить математический «облик» интерпретации функции многих переменных как точку многомерного пространства, то при наличии «трубчатого» процесса мы приходим к пространству дробной размерности F^λ . Вычисление размерности F^λ можно осуществить, например, так:

$$\dim F^\lambda = (n+1) - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{i,i+1}, \tag{7}$$

где n – размерность вектора u , а $\lambda_{i,i+1}$ означает «силу» стохастической связи между u_i и u_{i+1} .

Могут быть предложены и другие схемы вычисления размерности пространства. Отсюда следует вывод, что пространство, в котором протекают многие окружающие нас процессы, оказывается не только дробным, но и пространство изменяющейся размерности.

К-модели. К-модели становятся необходимыми при идентификации многомерных стохастических систем при различной априорной информации по различным исследуемому процессу (рисунок 2).

Ясно, что при исследовании реального объекта априорная информация о наличии и форме этих связей неизвестна. Более того, естественно считать, что априорная информация по различным каналам процесса может быть различной, то есть как параметрической, так и непараметрической и смешанной.

В этом случае, достаточно общая К – модель может быть принята в виде

$$\begin{cases} \hat{f}_i(u_{t-\tau}^{(i)}, x_t^{(i)}, x_{t-1}^{(i)}, x_{t-2}^{(i)}, \dots, \alpha) = 0, & i = \overline{1, k}, \\ \hat{f}_i(u_{t-\tau}^{(i)}, x_t^{(i)}, \beta) = 0, & i = \overline{k+1, l_1}, \\ \hat{S}_i(u_{t-\tau}^{(i)}, x_t^{(i)}, W_s^{(i)}) = 0, & i = \overline{l_1+1, l_2}, \end{cases} \tag{8}$$

где $u^{(i)}, x^{(i)}$ – составные векторы, т.е. векторы, составленные из некоторых компонент u и x , например $x_t^{(1)} = (x_t^1, x_t^3, x_t^5)$, а $u_t^{(3)} = (u_t^1, u_t^4, u_t^5)$, $W_s^{(i)}$ – выборки, объединяющие наблюдения всех переменных.

Первая группа уравнений (8) найдена на основе известных фундаментальных законов соответствующих исследуемому процессу с точностью до параметров α . Вторая си-

стема уравнений объекта получена на основе имеющейся информации, которая может быть известна из предшествующих инженерных исследований и представлена с точностью до вектора параметров β . Третья группа уравнений (8) не известна с точностью до параметров, но класс функций, описывающих взаимосвязь «входных – выходных» и промежуточных переменных определен на основе априорной информации.

Оценка значений компонент векторов выходных переменных $x(t)$, может быть найдена в результате решения системы уравнений (8) при фиксированных значениях $u(t)$. К-модели принципиально отличаются от общепринятых прежде всего тем, что учитывают во взаимосвязи все имеющиеся переменные и связи между ними. Отличаются также и уровни априорной информации о различных каналах исследуемого процесса. К-модели представляют собой органический синтез, описывающий исследуемый процесс или систему взаимосвязанных объектов во всем их многообразии. Таким образом, К-модели базируются на триаде, основу которой составляют фундаментальные законы физики, механики, электротехники и т.д., параметрические модели, которые, конечно же, являются приближенными и могут уточняться в процессе исследования, а также непараметрические статистики, базирующиеся на информации качественного характера об отдельных каналах исследуемого процесса. На этом пути можно строить НТ-модели, КН-модели, КНТ-модели.

И-регулятор. И-регуляторами мы называем регуляторы, представляющие собой некоторое приближение обратного оператора по отношению к оператору объекта: Введем оператор объекта A , описывающий процесс $x(t) = A < u(t) >$, где $u(t)$ – управляющее воздействие, $x(t)$ – выходная переменная объекта.

Если существует оператор, обратный A , т.е. A^{-1} , $A^{-1}A = I$ – единичный оператор, то

$$A^{-1}x(t) = A^{-1}A < u(t) >, u(t) = A^{-1}x(t). \quad (9)$$

Задавая теперь траекторию $x(t) = x^*(t)$, находим из (9) идеальное значение $u^*(t)$. Таким образом, (9) может быть отнесён к категории идеальных регуляторов. В дальнейшем будем его называть И-регулятор, чтобы отличить от многих известных. Однако проблема состоит в том, что в большинстве случаев его построить нельзя, тем более, что оператор A – неизвестен.

Рассмотрим частный случай. Пусть объект описывается линейным дифференциальным уравнением неизвестного порядка. В этом случае при нулевых начальных условиях $x(t)$ равен:

$$x(t) = \int_0^t h(t - \tau)u(\tau)d\tau, \quad (10)$$

где $h(t - \tau)$ – весовая функция системы, является производной переходной функции $k(t)$, т.е. $h(t) = k'(t)$.

Известно, что обратным оператором (10) является оператор

$$u(t) = \int_0^t v(t - \tau)x(\tau)d\tau, \quad (11)$$

где $v(t)$ – весовая функция объекта в направлении «выход-вход» и $v(t) = w'(t)$, где $w(t)$ – переходная функция системы в том же направлении.

В этом случае A представлен оператором (10), а A^{-1} – выражением (11). Следовательно, теперь проблема состоит в отыскании весовых функций $h(t)$, $v(t)$. Один из возможных путей решения этого вопроса состоит в решении уравнения Винера-Хопфа. Другой – в снятии переходной характеристики на реальном объекте с последующей оценкой его весовой функции по результатам измерений $\{x_i = k_i, t_i, i = \overline{1, s}\}$.

Непараметрическая модель (10) будет иметь вид:

$$x_s(t) = \int_0^t h_s(t-\tau, \vec{k}_s, \vec{t}_s) u(\tau) d\tau, \quad (12)$$

где \vec{k}_s, \vec{t}_s – временные векторы $\vec{k}_s = (k_1, \dots, k_s), \vec{t}_s = (t_1, \dots, t_s)$, а оценка (11) будет равна

$$u_s(t) = \int_0^t v_s(t-\tau, \vec{v}_s, \vec{t}_s) x(\tau) d\tau. \quad (13)$$

Весовую функцию $v(t)$ в направлении «выход-вход», а также переходную функцию на объекте «снять» нельзя. Было предложено переходную функцию $v(t)$ снять на модели в направлении «выход-вход», т.е. «вспять». По-видимому, впервые это было сделано в [6].

В этом случае $x_s(t)$ должна быть принята в виде функции Хевисайда, т.е.:

$$x_s(t) = \int_0^t h_s(t-\tau, \vec{k}_s, \vec{t}_s) u(\tau) d\tau = 1(t). \quad (14)$$

Численно решая уравнение (14) относительно $u(\tau)$, получим соответствующую выборку $u_j, j = \overline{1, s_1}$, используя которую, построим непараметрическую оценку $v_{s1}(t)$.

Поскольку операторы A и A^{-1} по реальным данным будут оценены не точно, то возникает необходимость несколько изменить схему «включения» на входе объекта блок A_s^{-1} , добавив обратную связь [5].

На нижеследующем рисунке 3 показан «экзотический» случай управления динамическим объектом, когда задающее воздействие меняется случайным образом.

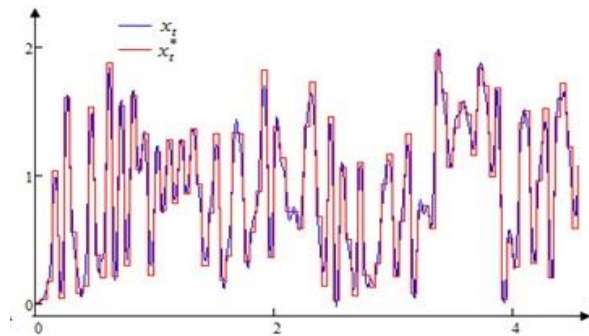


Рисунок 3 – Управление динамической системой при случайном задающем воздействии

Вышеприведенный рисунок иллюстрирует качество работы И-регулятора в случае, когда задающее воздействие $x^*(t)$ принимало случайное значение при каждом t . Объект описывался уравнением третьего порядка, оставаясь неизвестным для алгоритма управления.

Заключение. В докладе изложены управляемые процессы новых типов, которые не рассматривались в современной теории идентификации и управления. Отмечено, что Н-процессы протекают не только в пространстве дробной размерности, но и в пространстве изменяющейся размерности. Даны формулы для вычисления размерности пространства, а также приведены новые классы моделей: Н, Т и К. Рассмотрен И-регулятор, синтезируемый на основании непараметрической модели при снятии переходных характеристик на ней в направлении «выход-вход». Все эти процессы, модели и алгоритмы рассматриваются в условиях непараметрической неопределенности, т.е. когда сведения о параметрической структуре управляемого процесса отсутствуют.

Библиографический список

1. Параев Ю.А. Адаптация и оптимальное управление. Решение некоторых задач фильтрации динамических сигналов, формирующихся из случайных процессов гауссовского и пуассоновского типов // Адаптивные автоматические системы. – М. : Сов. радио, 1972. – С. 162 – 182.
2. Живоглядов В.П., Медведев А.В. Непараметрические алгоритмы идентификации, распознавания образов и дуального управления // Исследование и оптимизация стохастических распределенных систем. – Фрунзе : Илим, 1971. – С. 108 – 114.
3. Живоглядов В.П., Медведев А.В. Непараметрические стохастические алгоритмы управления и поиска экстремума // Автоматика и вычислительная техника. – Рига : Зинатне, 1973. – С. 38 - 42.
4. Медведев А.В. Анализ данных в задачах идентификации // Компьютерный анализ данных и моделирование. Т. 2. – Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 1995. – С. 201 – 206.
5. Медведев А.В. Основы теории адаптивных систем. – Красноярск: изд-во Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та, 2015, 525 с.
6. Medvedev A. V. Identification and control for linear dynamic System of unknown order // Optimization techniques IFIP Technical Conference. Berlin-Heidelberg-New-York: Springer-Verlag. 1975. P.48 – 56.

СЕКЦИЯ 1.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ

МЕХАНИЗМЫ СОГЛАСОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПРОЕКТАМИ

Бурков В.Н., Бушуев С.Д., Кошкин К.К.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Россия,
Киевский инженерно-строительный институт,
г. Киев, Украина,
Николаевский университет кораблестроения,
г. Николаев, Украина*

Распределенными проектами (программами) называются проекты (программы), состоящие из подпроектов (подпрограмм), распределенных либо функционально, либо административно, либо территориально.

Главной особенностью функционально и административно распределенных проектов (программ) является наличие несовпадающих интересов у руководителей подпроектов (подпрограмм). В связи с этим главной проблемой управления функционально и административно распределенными проектами (программами) является проблема согласования интересов всех заинтересованных лиц (в основном, руководителей подпроектов и подпрограмм).

Проблему согласования интересов подпроектов (подпрограмм) функционально или административно распределенного проекта (программы) рассмотрим на примере функционально распределенной программы, поскольку результаты легко переносятся на территориально-распределенные и административно-распределенные проекты и программы.

Итак, рассмотрим функционально распределенную программу, состоящую из m подпрограмм по различным направлениям. Руководство программы далее будем называть центром (Ц), а руководство подпрограмм по направлениям – агентами (А).

Примем, что имеется оценка состояния каждого направления (в количественной или качественной шкале). Обозначим через F_i оценку состояния i -го направления (целевая функция i -го агента), F – целевую функцию Центра. Целевая функция Центра зависит от целевых функций агентов:

$$F = \Phi(F_1; F_2; \dots; F_m). \quad (1)$$

Это может быть линейная, аддитивная или матричная свертка.

Задача Центра заключается в разработке программы (множества проектов), при которой целевая функция F достигает максимума при ограниченных средствах R , выделенных на программу. Каждый агент i , естественно, заинтересован в разработке подпрограммы, максимизирующей его целевую функцию F_i .

Если Центр при разработке программы не будет учитывать интересы агентов, то это приведет к таким отрицательным последствиям как сокрытие или искажение информации, предоставляемой агентами центру, невыполнение мероприятий программы и т.д.

Для формальной записи задачи оптимального согласованного планирования обозначим через F_i^0 существующую оценку состояния i -го направления. Условием согласования может быть обеспечение увеличения критерия F_i на величину $\Delta F_i = \gamma_i F_i^0$ (т.е. увеличение на $100\gamma_i$ процентов). В этом случае задача согласованного планирования принимает вид

$$F = \Phi(F_1; F_2; \dots; F_m) \rightarrow \max \quad (2)$$

при ограничениях

$$F_i \geq (1 + \gamma_i) F_i^0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Имеется n проектов, претендентов на включение в программу. Для каждого проекта i заданы затраты c_i на его реализацию и эффекты a_{ij} , которые обеспечивает проект для направления j (под эффектом понимается приращение критерия F_j). Обозначим $x_i = 1$, если проект i включен в программу, и $x_i = 0$ в противном случае.

Задача. Определить $x = \{x_i, i = \overline{1, n}\}$, максимизирующие

$$\Phi(y_1, y_2, \dots, y_m) \text{ где } y_j = \sum_i a_{ij} x_i, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

при ограничениях

$$\sum_i c_i x_i \leq R, \quad (5)$$

$$\sum_i x_i a_{ij} \geq \gamma_j F_j^0, \quad j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

МЕТОД СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ

Буркова И.В., Голодков А.Д., Палюлис Н.С.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Россия*

*Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса,
г. Вильнюс, Литва*

Управление проектами – одно из важнейших направлений теории и практики в области управления в социальных и экономических системах. Применение методов управления проектами – это необходимое условие эффективного управления проектами и программами самого разного вида, а также проектно-ориентированными организациями. Важнейшими функциями в управлении проектами являются функции управления предметной областью, управления временем, стоимостью, ресурсами и управления риском. С математической точки зрения большинство задач в этих функциональных областях сводится к задачам дискретной оптимизации, которые относятся к сложным (так называемым NP-трудным) задачам.

Существует несколько общих подходов к точному решению этого класса задач. В первую очередь, это метод ветвей и границ. Эффективность метода в существенной степени зависит от качества получаемых нижних (или верхних) оценок целевой функции на подмножествах решений. При плохих оценках это фактически полный перебор всех решений, при достижимых оценках это получение оптимального решения за один проход по дереву ветвлений. Достаточно универсальным методом получения оценок является метод Множителей Лагранжа. Алее следует метод динамического программирования Беллмана, который применим, к сожалению, к сравнительно узкому классу задач. Отметим, наконец, метод отсечений Гомори для решения задач целочисленного линейного программирования.

Далее рассмотрен новый подход как к точному решению, так и к получению оценок для задач дискретной оптимизации. Идея подхода состоит в том, что как целевая функция, так и система ограничений могут быть представлены в виде суперпозиции более простых функций. Такие суперпозиции удобно представлять в виде сети, вершины которой соответствуют функциям, входящим в суперпозицию. Поэтому такое представление названо сетевым, а соответствующий метод, использующий сетевое представление – методом сетевого программирования [1]. Метод применим в тех случаях, когда и целевая функция, и система ограничений имеют одинаковые структуры сетевого представления. Метод сетевого про-

граммирования позволяет получать точные решения задач, если структура сетевого представления является деревом. Метод динамического программирования (структура сетевого представления – ветка дерева) является частным случаем метода сетевого программирования.

В общем случае метод сетевого программирования дает достаточно универсальное средство получения оценок. Рассматривается понятие обобщенной двойственной задачи, частными случаями которой являются обычная двойственная задача линейного программирования и задача нахождения минимакса (максимина) функции Лагранжа. Приводятся примеры решения задач управления проектами методом сетевого программирования.

Библиографический список

1. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации / «Автоматика и телемеханика», журнал. – 2009. – № 10. – С. 15 – 21.

МЕХАНИЗМЫ КОНВЕРГЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Пужанова Е.О.

PMSoft, г. Москва, Россия

В настоящее время весьма популярной является оценка уровня развития проектно-ориентированных организаций на основе различных моделей организаций в области управления проектами (СММІ,РЗМЗ,ОРМЗ [1]). Данные модели описывают, какими организационными способностями управления проектами должно обладать предприятие, чтобы соответствовать тому или иному уровню зрелости.

Уровень зрелости организации определяется на основе трех компонент:

1. Методическая компонента организационных способностей управления проектами. Уровень развития данной компоненты определяют следующие показатели.

1.1 Глубина совершенствования процессов управления проектами .

1.2 Масштаб использованных методов управления проектами.

2. Информационно-технологическая компонента организационных способностей управления проектами.

3. Компетентностная компонента организационных способностей управления проектами. Уровень развития данной компоненты определяет:

3.1 уровнем профессиональных компетенций

3.2 уровнем межличностных компетенций

3.3 уровнем личностных компетенций

3.4 уровнем контекстуальных компетенций

Каждый показатель будет оценивать в качественной четырехбалльной шкале уровней: Низкий, Удовлетворительный, Хороший, Отличный.

Наличие такой интегральной оценки позволит организации более обоснованно и целенаправленно выбирать стратегию повышения уровня зрелости. Интегральная оценка является двухуровневой. На нижнем уровне формируются обобщенные оценки методической и компетентной компонент, поскольку они определяются на основе нескольких показателей.

На верхнем уровне формируется интегральная оценка уровня зрелости на основе свертки трех компонент.

Примем, что обобщенные оценки, также, как и интегральная оценка, измеряются в четырехбалльной шкале. Для построения обобщенной и интегральной оценок применим аппарат матричных сверток [1].

Дается постановка и решение задачи повышения уровня зрелости с минимальными

затратами на соответствующие мероприятия.

Библиографический список

1. Андронникова Н.Г., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. Комплексное оценивание в задачах регионального управления – М.2002 (Научное издание / Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН).

ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Уандыков Б.К.

*Министерство транспорта Казахстана,
г. Астана, Казахстан*

Задачи оперативного управления возникают на стадии анализа и регулирования проекта.

В данном случае мы используем представление сетевого графика, в котором работы изображаются дугами, а вершины являются событиями.

Рассмотрим две ситуации, при которых возникает необходимость в корректировке планов. В первом случае корректировка производится по требованию заказчика и (или) других заинтересованных лиц по сокращению продолжительности проекта и возможно моментов свершения ряда ключевых событий. Во втором случае корректировка производится с целью уменьшения потерь, возникающих при отклонении состояния проекта от запланированного. Отличие этого случая от первого состоит в том, что при больших затратах на уменьшение момента завершения проекта и моментов свершения ключевых событий корректировка не проводится (в первом случае корректировка обязательна).

Постановка задач

Рассмотрим первую ситуацию. Пусть сетевой график имеет $(m+1)$ событие и n работ. Множество всех работ обозначим через B . Обозначим t_{ij} – продолжительность работы (i,j) , t_i – момент свершения события i , T – момент завершения проекта в существующем расписании, Q – множество ключевых событий (включая завершение проекта), t_i^0 , $i \in Q$, требуемые моменты свершения ключевых событий ($t_n^0 = T^0$). Обозначим далее $S_{ij}(\Delta_{ij})$ затраты на сокращение продолжительности работы (i,j) на величину Δ_{ij} . Ограничимся рассмотрением линейных зависимостей

$$S_{ij}(\tau_{ij}) = K_{ij}\Delta_{ij}, \quad 0 \leq \Delta_{ij} \leq \tau_{ij} - d_{ij} = D_{ij}, \quad (1)$$

где d_{ij} – минимальная продолжительность работы (i,j) .

Задача 1. Определить Δ_{ij} , $(i,j) \in B$, так чтобы моменты свершения ключевых событий были равны требуемым t_i^0 , а суммарные затраты были минимальными.

Для решения задачи добавим в сетевой график дуги (фиктивные работы) (i,m) , $i \in Q$ длины $\tau_{im} = T^0 - t_i^0$. В этом случае задача свелась к задаче определения минимальных затрат, требуемых для уменьшения продолжительности проекта до величины T^0 .

Алгоритм

1 шаг. Полагаем продолжительности дуг $\tau_i = D_i, i = \overline{1,m}$. Определяем сеть критических путей в сетевом графике

2 шаг. Определяем минимальный номер i_1 события такой, что дуга (i_1, m) принадлежит критическому пути.

3 шаг. Определяем дугу с минимальной величиной $k_i = k_{i-1,i}$, $i = \overline{1, i_1}$. Уменьшаем ее продолжительность на величину Δ . Величина Δ определяется либо из условия равенства продолжительности дуги $(i-1, i)$ минимальной величине $d_i = d_{i-1,i}$, либо из условия появления нового критического пути.

МНОГОСТРУКТУРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКОВ ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Кулаков С.М., Мусатова А.И., Баранов П.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В условиях рыночной экономики предприятия имеют ограниченные свободные финансовые ресурсы, поэтому принятие решений по реализации предлагаемых инвестиционных проектов требует оценки их эффективности с использованием различных методов и определенных критериев. Инвестиционный проект рассматривается с разных сторон: финансовой, технологической, маркетинговой, организационной, временной. Как правило, основным ограничителем реализации инвестиционного проекта является возможность его финансирования.

Источники денежных средств варьируются по степени их доступности: внутренний источник (собственные средства), внешний источник (банковские кредиты и займы) и смешанный источник финансирования. В настоящее время используются разнообразные методы оценки эффективности инвестиционных проектов [1, 2], выбор которых зависит от масштабности и продолжительности осуществления проекта, от объема инвестиций (в том числе капитальных вложений), от финансовой устойчивости предприятия и от множества других факторов.

Малые инвестиционные проекты (не требующие значительных инвестиций) оцениваются простейшими методами, которые определяют срок окупаемости, норму прибыли на капитал, чистый доход. Крупномасштабные проекты вызывают необходимость сложных расчетов ожидаемых денежных потоков и оцениваются динамическими методами, которые определяют, с учетом фактора времени, дисконтированный срок окупаемости, чистый дисконтированный доход, внутреннюю норму прибыли, индекс доходности.

Базовым (первоначальным) показателем оценивания эффективности каждого инвестиционного проекта является расчетный срок окупаемости ($T_{ок}^p$), то есть период времени, за который сумма ожидаемых (прогнозируемых) ежегодных денежных поступлений (D_n) от реализации проекта окупит (компенсирует) сумму первоначальных затрат (I_n) – инвестиций:

$$T_{ок}^p = I_n : D_n, \text{ лет} \quad (1)$$

Руководитель предприятия (заказчик проекта), как лицо, принимающее решение, в первую очередь рассматривает расчетный срок окупаемости инвестиций, определяет его экономическую и финансовую обоснованность и сравнивает с собственной оценкой предельного срока для конкретного проекта.

Важно отметить, что исходные данные, необходимые для расчета срока окупаемости, имеют многовариантную природу, обусловленную многообразием возможных вариантов инвестирования в проект и динамики соответствующих доходов от реализации проекта. Учитывая это, считаем целесообразным использовать метод многовариантного оценивания сроков окупаемости.

Основной составляющей дохода от внедрения проекта является чистая прибыль ($\Pi_p^ч$) от реализации товаров (услуг):

$$\Pi_p^ч = (\Pi - C_n) \cdot \text{ТП} - \text{НЛ}, \text{ руб.}, \quad (2)$$

где Π – оптовая (рыночная) цена товаров (ТП), руб./ед;

C_n – полная себестоимость (издержки) единицы продукции (товаров, услуг), руб./ед;

НЛ – налог на прибыль, руб.

При этом можно определить (выделить) следующие возможные варианты использования расчетной чистой прибыли для компенсации затрат (инвестиций) на разработанный проект:

– вся чистая прибыль направляется на покрытие инвестиций:

$$D_1 = \Pi_p^ч, \text{ руб.}; \quad (3)$$

– часть (доля) d чистой прибыли, отчисляемая в фонд накопления направляется для покрытия инвестиций (фонды создаются по решению акционеров – собственников):

$$D_2 = \Pi_p^ч \cdot d, \text{ руб.}; \quad (4)$$

– прирост чистой прибыли от реализации проекта, связанный с модернизацией действующего объекта направляется для покрытия инвестиций:

$$D_3 = \Delta \Pi_p^ч; \quad \Delta \Pi_p^ч = (\Pi_p^{\text{ед}} - \Pi_{p1}^{\text{ед}}) \cdot \text{ТП}, \text{ руб.}, \quad (5)$$

где $\Pi_p^{\text{ед}}$ и $\Pi_{p1}^{\text{ед}}$ – чистая прибыль (при прочих равных условиях) после и до модернизации, руб./ед;

– часть прироста чистой прибыли, отчисляемая в фонд накопления:

$$D_4 = \Delta \Pi_p^ч \cdot d, \text{ руб.} \quad (6)$$

Кроме перечисленных вариантов дохода денежных поступлений при самофинансировании проекта к доходу могут быть дополнительно отнесены варианты амортизационных отчислений от основных фондов и нематериальных активов, используемых в проекте:

а) амортизационные отчисления (A) при равномерном линейном способе начисления амортизации (H_a);

б) амортизационные отчисления (A_y) при ускоренном способе начисления амортизации (H_a^y), предусмотренных действующими нормативно-правовыми актами.

Постановка задачи. Дано:

1. Исходные данные для расчета срока окупаемости проекта:

– объем инвестиций на разработку и реализацию проекта (I);

– чистая прибыль за единичный период t (интервал, шаг) расчета $T_{\text{ок}}$, руб./ t ;

– первоначальная стоимость вводимых основных фондов ($C_{\text{оф}}$), руб.;

– средневзвешенная норма амортизации инвестиций, %.

2. Варианты модели расчета дохода от реализации проекта:

$D_1; D_2; D_3; D_4.$

$$\begin{aligned} D_5 &= D_1 + A; & D_6 &= D_1 + A_y; & D_7 &= D_2 + A; & D_8 &= D_2 + A_y; \\ D_9 &= D_3 + A; & D_{10} &= D_3 + A_y; & D_{11} &= D_4 + A; & D_{12} &= D_4 + A_y. \end{aligned}$$

3. Варианты модели вложений инвестиций (капитальных вложений) в проект:

– единовременное полное вложение средств в проект (I);

– равномерное распределение инвестиций по единичным интервалам времени (I_1);

– линейно растущие или убывающие вложения инвестиций во времени (I_2);

– распределение вложений в соответствии с произвольным нелинейным законом

(I_3).

Требуется

1. Оценить многовариативные сроки окупаемости с использованием выбранных ин-

вестиционных вложений в проект и вариантов моделей доходов от проекта.

2. Проранжировать сроки окупаемости проекта и предоставить лицу, принимающему решения (ЛПР), для выбора реалистичного срока.

Решение.

Для осуществления поставленной задачи разработана многошаговая процедура оценивания сроков окупаемости проекта с учетом ожидаемых (прогнозируемых, возможных) денежных поступлений (доходов) и расходов на каждом шаге (отрезке времени) расчетного периода для анализа и выбора рационального варианта, включающая три основных алгоритмических модуля формирования сроков окупаемости проекта:

- при равномерном поступлении доходов от его реализации (модуль М1);
- при неравномерном поступлении доходов от его реализации (модуль М2);
- при дисконтировании неравномерных доходов (модуль М3).

В подробно представленном модуле М1 (рисунок 1) предполагается, что денежные потоки от внедрения проекта будут поступать равномерно по интервалам времени (по годам, кварталам или месяцам).

В первую очередь определяются сроки окупаемости проекта для трех моделей дохода D_1, D_2, D_3 (блоки 2, 4, 6, рисунок 1) и осуществляется проверка соответствия $T_{ок1}, T_{ок2}, T_{ок3}$ установленным границам T^*, T^{**} . Оценки $T_{ок1}, T_{ок2}, T_{ок3}$ соответствующие данным границам запоминаются. Последующие оценки сроков окупаемости выполняются для моделей дохода D_4, D_5, D_6 , отличающихся от D_1, D_2, D_3 учетом доли d чистой прибыли, отчисляемой в фонд накопления (блоки 18, 24, 29, 34, рисунок 1). При этом предполагается, что доля d может по шагам времени изменяться в заданных пределах от d^* до d^{**} с выбранным шагом Δd , который может принимать значения от Δd^* до Δd^{**} . Оценки $T_{ок4}^0, T_{ок5}^0, T_{ок6}^0, \{T_{ок4}^1\}, \{T_{ок5}^1\}, \{T_{ок6}^1\}$, соответствующие заданным границам T^*, T^{**} запоминаются.

Все полученные оценки срока окупаемости проекта оформляются в виде специальных таблиц, которые соответствуют пошаговой процедуре определения вариантов срока окупаемости, предоставляемых заказчику проекта для выбора рационального значения $T_{ок}$.

Модуль М2 алгоритма расчета сроков окупаемости [3], базирующийся на модуле М1, отличается от этого модуля тем, что предполагается неравномерное поступление по времени денежных потоков от внедрения проекта. При этом составляющие дохода (чистая прибыль и амортизационные отчисления) изменяются по-разному. Необходимо прогнозировать значения указанных составляющих дохода на предстоящие интервалы времени. Начальный прогноз чистой прибыли определяется в соответствии с формулой (2), а начальные амортизационные отчисления – на основе заданных капитальных вложений и нормы амортизации (модуль М1, блоки 3 – 5).

В дальнейшем рассматриваются возможные отклонения от начальных расчетов, определяемые экспертным путем. Например, чистая прибыль в первые интервалы времени (1 – 2 года или месяца) будет существенно меньшей по сравнению с начальным расчетом, а в последующих интервалах прогнозируется ее нарастание. Амортизационные отчисления, начиная со второго интервала, будут уменьшаться за счет износа основных фондов.

В модуле М2 также учитываются возможные изменения чистой прибыли от проекта путем введения коэффициента γ_t пошагового ее изменения. Кроме того, амортизационные отчисления пошагово корректируются с учетом равномерного и ускоренного убывания остаточной стоимости основных фондов проекта.

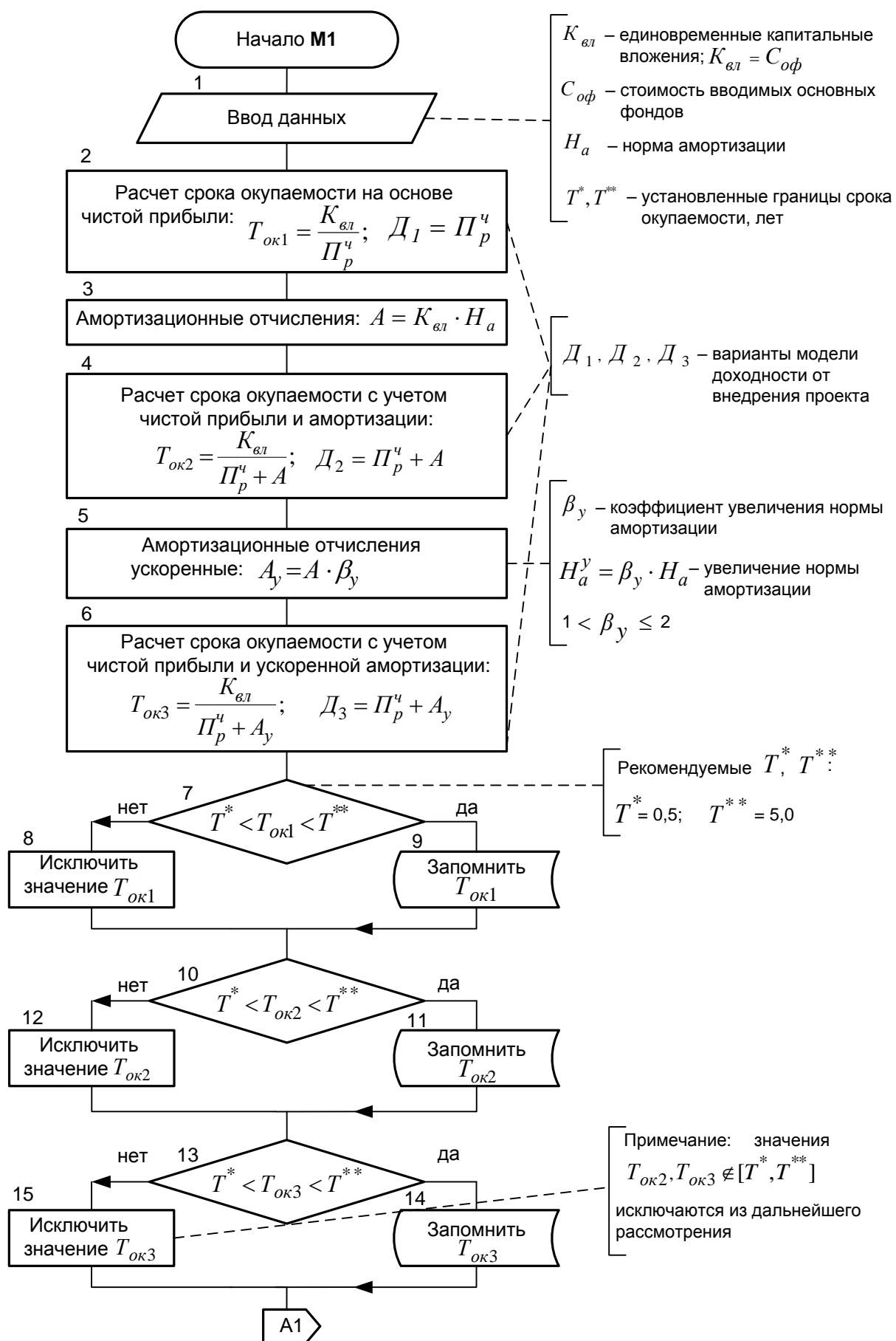
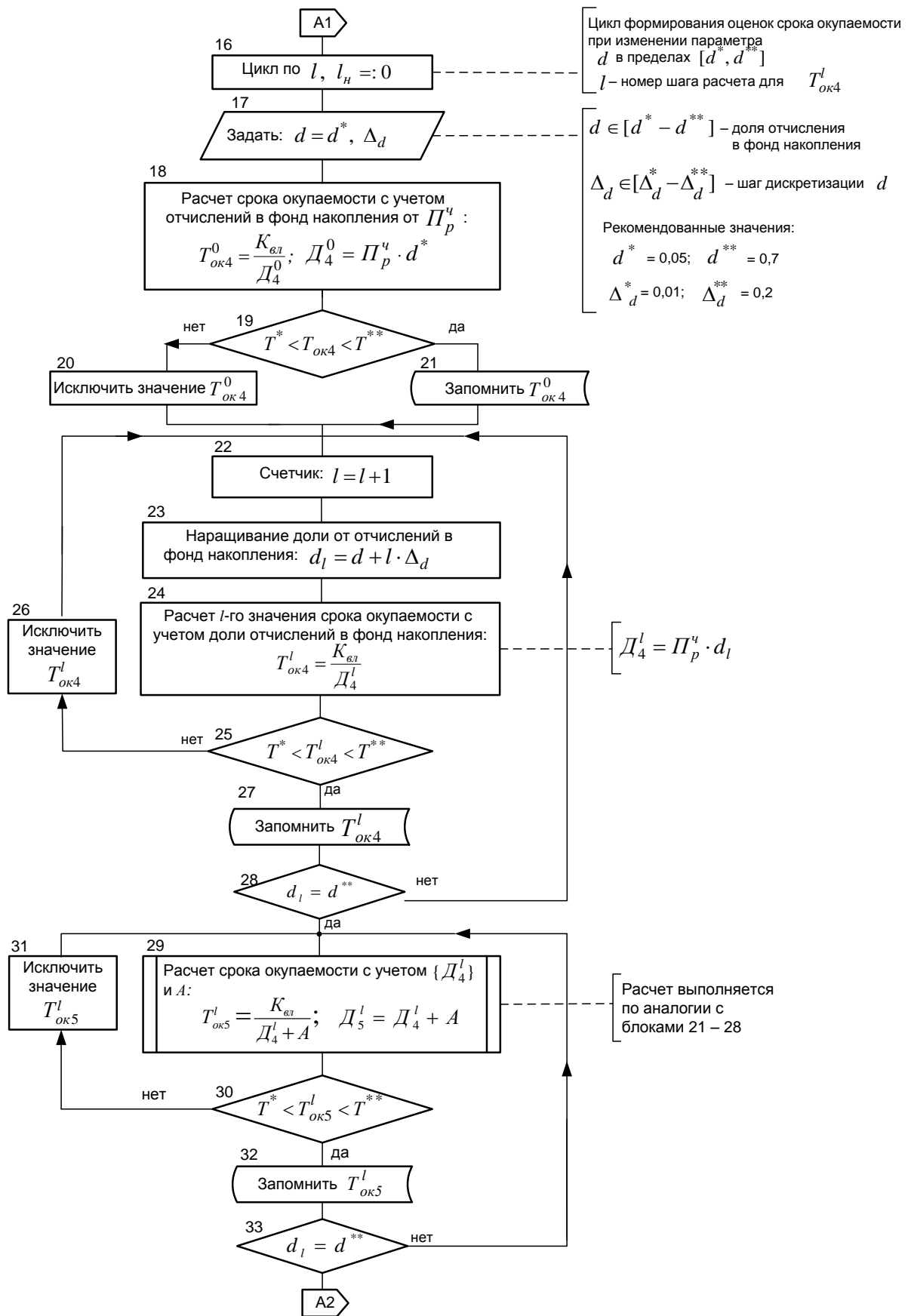
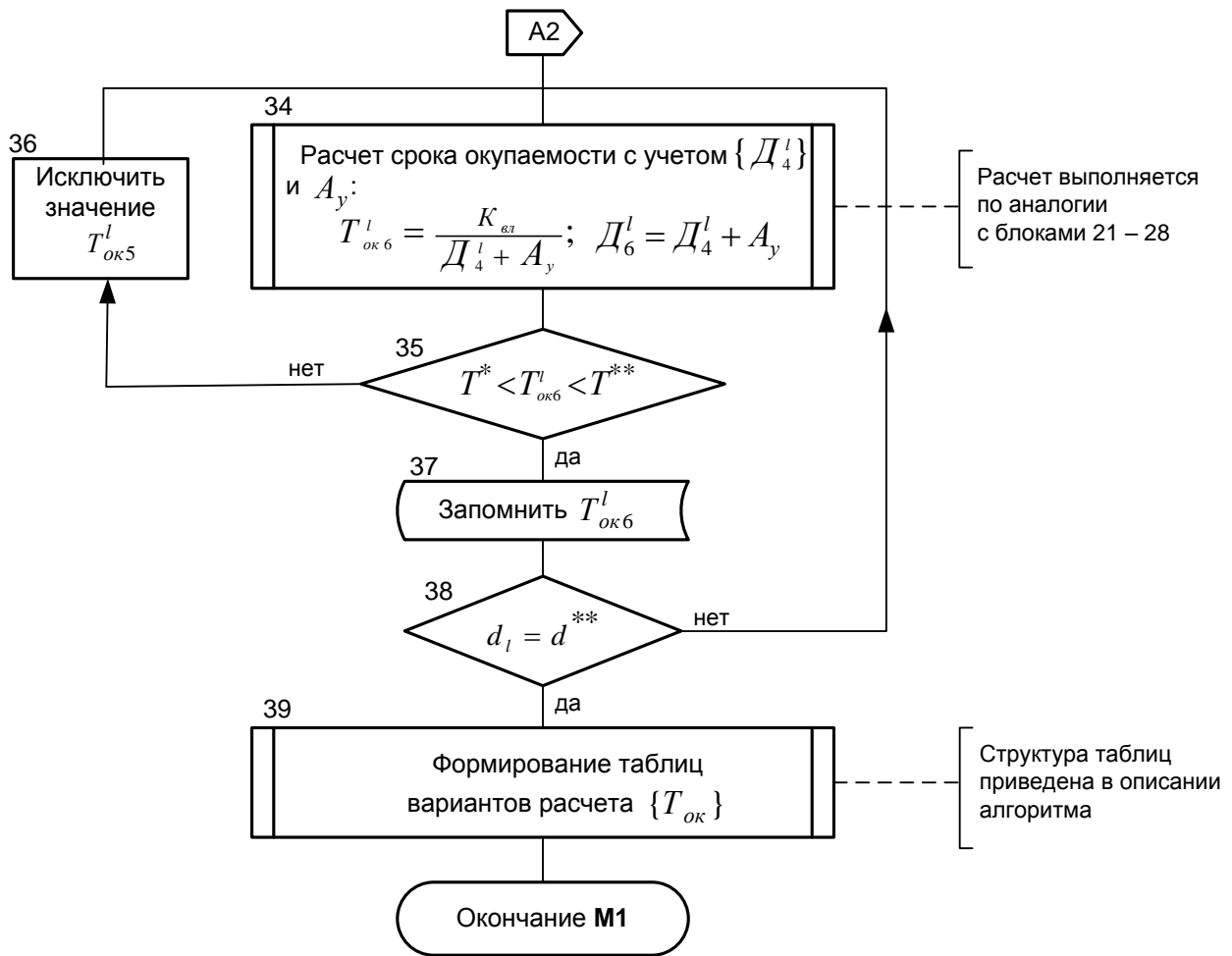


Рисунок 1 – Алгоритм формирования сроков окупаемости проекта при равномерном поступлении доходов от его реализации (модуль М1)



Продолжение рисунка 1



Окончание рисунка 1

Для всех вариантов $T_{ок7}$, $T_{ок8}$, $T_{ок9}$ расчета срока окупаемости проекта в модуле M2 осуществляется оценка ожидаемого экономического эффекта $\mathcal{E}(t)$ по интервалам времени и проверка условия $\mathcal{E}_j(t) \geq 0$ окупаемости проекта.. Специальные таблицы результатов расчета сроков окупаемости для рассматриваемого модуля M2 отличаются, от полученных результатов для модуля M1, значительным количеством вариантных оценок $T_{ок}$, что обусловлено пошаговым повторением расчетов для разных амортизационных отчислений и размеров чистой прибыли.

Модуль M3 является развитием модуля M2. Отличительной особенностью модуля M3 является учет изменения ценности денег во времени, которое учитывается посредством введения коэффициента дисконтирования K_d^c денежного потока, определяемого по схеме сложных процентов на основе номинальной ставки дисконтирования. Последняя устанавливается на основе анализа процентных ставок по кредитам с учетом оценок инфляции и рисков. Детальное описание модулей M2, M3 приведено в статье [3].

Заключение. В докладе представлено алгоритмическое обеспечение системы пошагового и многовариантного оценивания ожидаемых сроков окупаемости инвестиционного проекта при равномерном поступлении доходов от его реализации. Предлагаемый многовариантный подход позволяет выполнять интерактивные расчеты сроков окупаемости по фазам жизненного цикла инвестиционного проекта.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (официальное издание) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ; рук. авт. кол.: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.
2. Крылов Э.И. Анализ эффективности инвестиционной и инновационной деятельности предприятия: учеб. пособие / Э.И. Крылов, В.М. Власова, И.В. Журавкова. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 608 с.
3. Кулаков С.М., Мусатова А.И., Баранов П.П. Многовариантное оценивание ожидаемых сроков окупаемости инвестиционного проекта // Научное обозрение – 2014, № 8. – С. 1121 – 1133.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ MICROSOFT VISUAL STUDIO (C#)*

Гурин И.А., Спирин Н.А., Лавров В.В., Бякова М.В.

*Уральский федеральный университет,
г. Екатеринбург, Россия*

Современные средства разработки программного обеспечения, например, среда Microsoft Visual Studio (C#), позволяют в короткие сроки создавать стильные и функциональные приложения. Однако эти средства не включают стандартные математические библиотеки, необходимые при разработке программного обеспечения для решения научно-практических задач. С другой стороны, инженерные пакеты с большим количеством встроенных математических библиотек и специальных функций, например, Fortran, MathCAD, MATLAB, Mathematica и др. помимо своей высокой лицензионной стоимости не имеют встроенных средств создания удобного пользовательского интерфейса и не позволяют разрабатывать функциональные Windows-приложения. Кроме того, в связи со стремительным появлением новых редакций Microsoft Visual Studio на практике весьма затруднена их интеграция с математическими пакетами [1].

В данной работе рассматривается реализованный в среде Microsoft Visual Studio на языке C# метод решения задачи оптимизации на примере оптимального распределения природного газа в группе доменных печей с учетом индивидуальных технологических ограничений на каждую печь и параметров работы доменного цеха. Цель работы – построение автоматизированной информационно-моделирующей системы для оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на отдельных доменных печах, а также расчета их оптимального распределения при заданном на доменный цех общем объеме этих ресурсов [2].

Используемый подход основан на следующих положениях: при относительно небольших колебаниях параметров относительно базовых значений целесообразно использовать принцип малых отклонений и свести задачу оптимизации к линейному математическому программированию. В общем виде математическая модель оптимального распределения природного газа в доменном цехе содержит линейную целевую функцию и ограничения. Целевая функция сводит к максимуму эффективность использования природного газа в цехе [3]:

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

$$Z = \sum_{j=1}^n \left\{ \alpha (e_j C_K - C_{ПГ}) + (1 - \alpha) C_{П} \left[\Delta\Pi_j^{ПГ} - e_j \Delta\Pi_j^K \right] \right\} V_j^{ПГ} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где Z – эффективность использования природного газа в цехе, руб./час; n – количество печей в цехе, шт.; α – весовой коэффициент, который определяет, что предпочтительнее – выигрыш в денежном выражении или в производительности, $0 < \alpha \leq 1$; e_j – эквивалент замены кокса на природный газ, кг кокса/м³ природного газа; C_K – стоимость кокса, руб./кг кокса; $C_{ПГ}$ – стоимость природного газа, руб./м³; $C_{П}$ – условно постоянный коэффициент, который показывает на сколько увеличиваются затраты при увеличении производительности, руб./т чугуна; $\Delta\Pi_j^{ПГ}$ – изменение производительности j -й печи при увеличении расхода природного газа на 1 м³, т чугуна/м³ ПГ; $\Delta\Pi_j^K$ – изменение производительности j -й печи при увеличении расхода кокса на 1 кг, т чугуна/кг кокса; $V_j^{ПГ}$ – расход природного газа на j -й печи, м³/час.

Как видно из выражения (1), часть, расположенная в фигурных скобках, имеет постоянное значение при данном расчете и представляет собой коэффициент эффективности использования природного газа на j -й печи. Поэтому упрощенно значение целевой функции Z можно представить по формуле:

$$Z = \sum_{j=1}^n k_j V_j^{ПГ} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где k_j – коэффициент эффективности использования природного газа, руб./м³ природного газа.

Задача оптимизации включает следующие компоненты:

- максимизируемая целевая функция Z ;
- коэффициенты, отражающие влияние расходов природного газа на показатели теплового, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки;
- ограничения на показатели теплового, газодинамического и шлакового режимов по печам (максимальные и минимальные величины содержания S и Si в чугуне, расхода газа на доменную печь, теоретической температуры горения на фурмах, обобщенного показателя теплового состояния низа печи, отношения теплоемкостей потоков шихты и газов в шахте, степени уравнивания шихты газовым потоком и др.);
- ограничения на цех в целом по запасам кокса и природному газу, требуемая производительность цеха.

На данный момент алгоритм решения задачи оптимизации реализован в пакете Microsoft Office Excel, где с использованием встроенной надстройки «Поиск решения» реализован блок оптимального распределения природного газа в базовом режиме, позволяющий оценить эффективность использования топливно-энергетических ресурсов.

С другой стороны, среда Microsoft Visual Studio (C#) включает средства автоматизации приложений. Например, для автоматизации расчета написана библиотека объектов Microsoft Office Excel, которая позволяет выполнять практически все действия, которые можно выполнить вручную через интерфейс пользователя. Библиотека включает возможности чтения и изменения ячеек на листах книги, создание диаграмм и вызов макросов. Имея такой функционал, принято решение об интеграции библиотека объектов Microsoft Office Excel с Microsoft Visual Studio (C#).

Подход интеграции Microsoft Office Excel и Microsoft Visual Studio (C#) основан на клиент-серверной архитектуре. В роли сервера выступает Excel-документ, на котором хранятся данные для расчета и модель. Пользовательское приложение в роли клиента читает и изменяет эти данные, вызывает процесс расчета и читает его результаты.

Шаги алгоритма оптимизации при такой архитектуре представлены на рисунке 1.

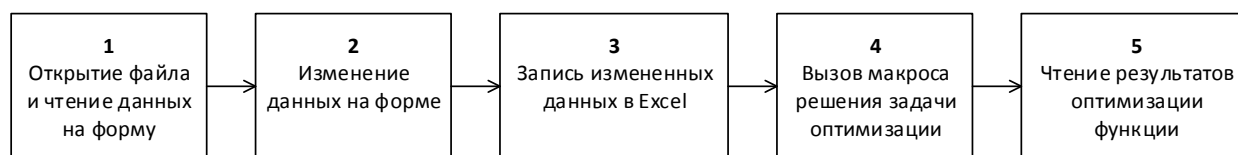


Рисунок 1 – Алгоритм работы оптимизации при интеграции с Microsoft Office Excel

Преимуществом такого подхода является быстрая разработка программного средства за счет сокращения времени на разработку, тестирование и отладку математической библиотеки. В отличие от первоначального варианта прямой работы пользователя с Excel-документом, этот подход имеет следующие основные преимущества:

- централизованное хранение и возможность автоматической выгрузки исходных данных для расчета из централизованной базы данных предприятия;
- оперативное представление пользователю в удобном виде нескольких вариантов расчета оптимизации в количественном и графическом виде.

Однако, в ходе решения задачи оптимизации при помощи интеграции с Microsoft Office Excel были обнаружены следующие недостатки:

- максимальное количество ограничений в надстройке «Поиск решения» при нахождении целевой функции составляет 100. Данное ограничение не позволяет гибко решать задачу, настраивая ограничения на каждую печь;
- низкая скорость решения задачи. Действия с Excel-файлом осуществляются через открытие приложения Microsoft Office Excel в фоновом режиме. Открытие занимает большой промежуток времени, а выполнение операций чтения и записи осуществляется с задержкой;
- «зависание» процесса Excel на компьютере пользователя. Даже корректное программное завершение работы с приложением Microsoft Office Excel и освобождение ресурсов на стороне приложения не приводит к реальному освобождению ресурсов на вычислительной станции;
- необходимость хранения отношений между данными приложения и соответствующими ячейками Excel-файла. Другими словами, логика работы клиентского приложения связана с реализацией модели оптимизации в Excel-файле, поэтому любое изменение модели оптимизации требует постоянной перенастройки диапазонов ячеек и перекомпиляции приложения;

– отсутствие возможности изменять модель внутри программы. Например, изменение количества печей или ограничений по печам требует ручного изменения документа Excel, либо предполагает хранение копий документа с разными моделями;

– проблема программной совместимости версий. Библиотека объектов поставляется вместе с приложением Microsoft Office Excel и может быть несовместима с версией, используемой при разработке программного обеспечения.

В связи с большим количеством недостатков, обнаруженных при таком подходе к решению задачи, мы разработали собственный алгоритм для решения задачи оптимального распределения природного газа в доменном цехе.

Для решения задачи оптимизации выполним анализ целевой функции, представленной в выражении (2). Из этого выражения видно, что наиболее выгодно увеличивать подачу газа на печи с наибольшим коэффициентом эффективности использования природного газа. Следовательно, природный газ необходимо перераспределить таким образом, чтобы на печи с наибольшими коэффициентами эффективности использования приходился наибольший расход природного газа, с учетом ограничений на каждую из печей.

На основе этого принципа разработан алгоритм направленного перебора при решении задачи оптимизации. Данный алгоритм состоит из двух этапов, на которых выполняется оптимизация с учетом разных видов ограничений.

На первом этапе выполняется оптимизация функции с учетом ограничений по от-

дельным печам. Алгоритм последовательно увеличивает расход природного газа на наиболее «выгодных» с точки зрения потребления ресурсов печам и вместе с этим уменьшает расход на менее «выгодных», при этом суммарный расход на цех остается на одном уровне. Алгоритм начинает свою работу с базовых показателей работы печей и на каждом шаге проверяет соответствие величины показателей ограничениям по печам. Если показатели на какой-то печи выходят за величину ограничения, то расход природного газа на ней фиксируется и на первом этапе больше не изменяется. Алгоритм работает до тех пор, пока в цикле не останется одна печь.

На втором этапе осуществляется оптимизация найденных на первом этапе расходов с учетом ограничений на цех. Ограничения на цех подразделяются на те, которые требуют увеличения расхода природного газа (например, при меньшем суммарном расходе природного газа, чем резервы цеха), и те, которые требуют уменьшения природного газа (например, при большем суммарном расходе кокса, чем резервы цеха). Исходя из вышеприведенного анализа, для выполнения ограничений на цех, выполняется уменьшение расходов газа на наименее «выгодных» печам и увеличение на наиболее «выгодных» печам. Перебор осуществляется также с дополнительной проверкой ограничений на отдельные печи и заканчивается, когда все ограничения выполнены.

На рисунке 2 упрощенно представлен алгоритм работы блока оптимизации.

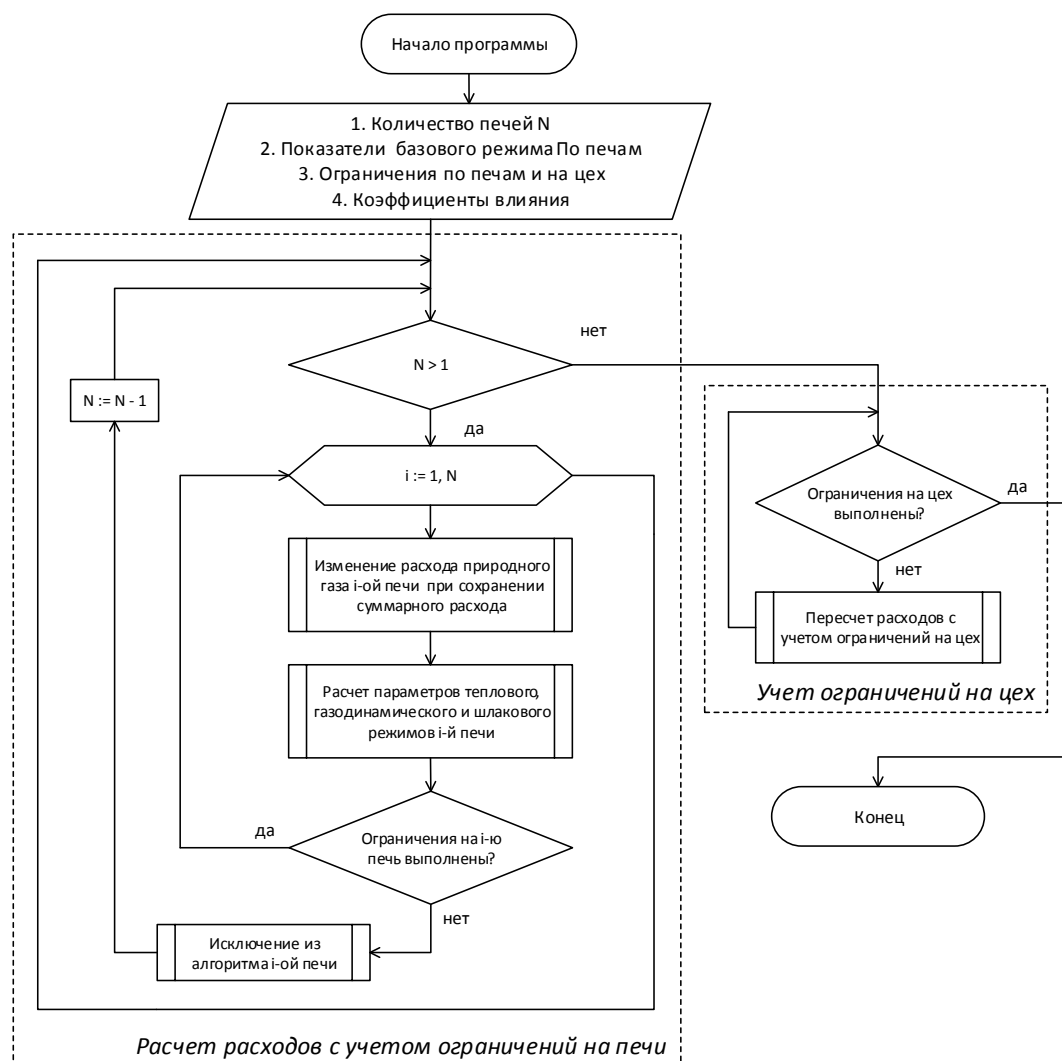


Рисунок 2 – Алгоритм направленного перебора функции оптимального распределения природного газа в доменном цехе

Результаты оптимизации функции на основе предложенного алгоритма были проверены на правильность путем сравнения с результатами, полученными с помощью надстрой-

ки «Поиск решения» в Microsoft Office Excel. Сравнение показало полное совпадение результатов различных вариантов базовых условий и ограничений, что говорит о хорошей точности алгоритма.

Таким образом, в данной работе рассмотрены два реализованных подхода к решению задачи оптимизации линейной функции. Первый подход включает интеграцию с пакетом Microsoft Office Excel и использует для решения задачи встроенную надстройку «Поиск решения», вызываемую с помощью макроса. Второй способ – программная реализация собственного алгоритма решения задачи оптимизации, использующего метод направленного перебора. Стоит отметить, что другие подходы к решению задачи могут заключаться в интеграции с пакетами прикладных программ для решения задач технических вычислений, такими как MathCAD, MATLAB или Mathematica.

Библиографический список

1. Леоненков А. В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel / А.В.Леоненков. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 704 с.
2. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спириин, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев, И.Е. Косаченко, В.В. Лавров, А.В. Терентьев; под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ–УПИ. 2005. 301 с.
3. Спириин Н.А. Оптимизация распределения природного газа в доменном цехе при изменении параметров плавки / Н.А. Спириин, Л.Ю. Гилёва, В.В. Лавров, А.С. Истомин, И.А. Гурин, А.А. Бурыкин, К.А. Щипанов. Известия вузов. Черная металлургия. 2014. № 6. С. 45–49.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бояринова А.С., Тутов И.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

Расширение производства и повышение уровня автоматизации в нефтегазовой отрасли обуславливают увеличение количества регистрируемых с производственных объектов данных, а также число передаваемых им сигналов управления, необходимых для обеспечения стабильного технологического процесса. Отображение на экране монитора большого количества информации значительно усложняет задачу наблюдающего за технологическим процессом оператора, который обязан должным образом отреагировать на сложившуюся в системе ситуацию, а также предотвратить возможную аварию. Согласно проводимым исследованиям, ошибки операторов вызывают порядка 42 % аварийных ситуаций на промышленных объектах [1]. В связи со столь неутешительными статистическими данными, становится актуальной задача сокращения количества ошибок оператора и повышение эффективности его работы. Одним из перспективных решений данной проблемы может стать оптимизация человеко-машинного интерфейса (НМИ).

Принципы, используемые при оптимизации НМИ в основном базируются на ситуационном восприятии информации оператором, исследованиям в области которого сегодня стало уделяться гораздо большее внимания. Выделяют три основных уровня ситуационного восприятия – восприятие информации, ее оценка, принятие решения. Эффективность действий оператора на каждом из этих уровней и их общая совокупность определяют успешность исхода ситуации.

Однако существует ряд проблем, связанных с получением эффективного НМИ. При разработке интерфейса необходимо учитывать, что оператор не принимает участие в процессе его создания. Также сказывается нехватка у разработчиков НМИ специальных знаний

в области ситуационного восприятия информации человеком. Использование невзвешенных решений при создании экранных форм (мнемосхем) влечет за собой неэффективность действий оператора, рост количества допущенных им ошибок во время наблюдения за функционированием технологического объекта, а также увеличение времени, необходимого для обучения оператора работе с реализованным HMI.

Широкое применение удаленного управления объектами становится следующим аргументом, говорящим в пользу проведения оптимизации HMI. Использование удаленного доступа лишает оператора возможности находиться вблизи оборудования и оценивать его реальное физическое состояние посредством собственных органов чувств. Сегодня для оценки состояния объекта традиционно используют SCADA-системы, одной из основных составляющих которых является человеко-машинный интерфейс. В наши дни HMI становится единственным инструментом для оператора, позволяющим эффективно управлять технологическими процессами на удаленном объекте. Таким образом, перед разработчиками HMI стоит важная задача – создать интерфейс, отображающий текущую информацию об объекте на экране монитора оператора в удобной для него форме и наиболее оптимальным образом.

Бил Холлифилд, автор книги «The High Performance HMI Handbook», в статье для компании Intech говорит: «Примерно три десятилетия назад мы, специалисты по автоматизации производства, столкнулись с задачей, к которой были плохо готовы. Мы начали внедрять АСУ ТП с возможностью графического отображения хода процессов в реальном времени. Однако вначале экраны были пустыми, и нам надо было заполнить их информацией. У нас не было руководств, в которых можно было бы прочесть о том, что такое «хорошая» графика. Мы делали все что могли, вернее, все что знали – а знали мы немного. Итог был предсказуем – мы создали малоэффективную парадигму человеко-машинных интерфейсов» [2].

Разработчики современных HMI предлагают следующие принципы, которыми стоит руководствоваться при создании мнемосхем. В первую очередь это иерархичность экранных форм. На сегодняшний день большинство существующих схем HMI содержат лишь один уровень иерархии, отражающий весь технологический процесс, что приводит к нарушению одного из основных положений разработки мнемосхем – она должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления конкретным объектом [3]. Вторым важным принципом в повышении эффективности HMI становится унификация цветов, используемых для индикации событий, их аутентичность передаваемой информации, а также определение оптимальной общей цветовой палитры мнемосхем. Не стоит злоупотреблять цветом, а также использовать цвета, предназначенные для тревог (обычно красный, зеленый) для других обозначений, так как это «размывает» их смысловую нагрузку [2]. Наиболее наглядно отсутствие применения принципов ситуационного восприятия при разработке HMI, можно продемонстрировать на примере интерфейса середины 90-х годов (рисунок 1). На данной мнемосхеме мы видим черный фон, осложняющий восприятие цветовой индикации, а также наблюдается отсутствие иерархии.

Для наблюдения за технологическими процессами тех лет данный интерфейс был вполне актуален, однако в наши дни, произошедшие за последние 30 лет радикальные изменения в уровне и объеме автоматизации производства, а также в возможностях SCADA-систем диктуют новые условия, каким должен быть HMI. С ростом возможностей SCADA-систем, например, стало популярным использовать 3D графику в мнемосхеме (рисунок 2).

Однако после опыта внедрения 3D-схем на производстве, разработчикам стало очевидно, что не стоит стремиться к чрезмерной правдоподобности отображения объектов и оборудования на мнемосхеме, так как это также осложняет восприятие информации оператору. Данный принцип, равно как и принципы иерархичности и оптимальной цветовой индикации, рекомендуется учитывать при создании HMI.

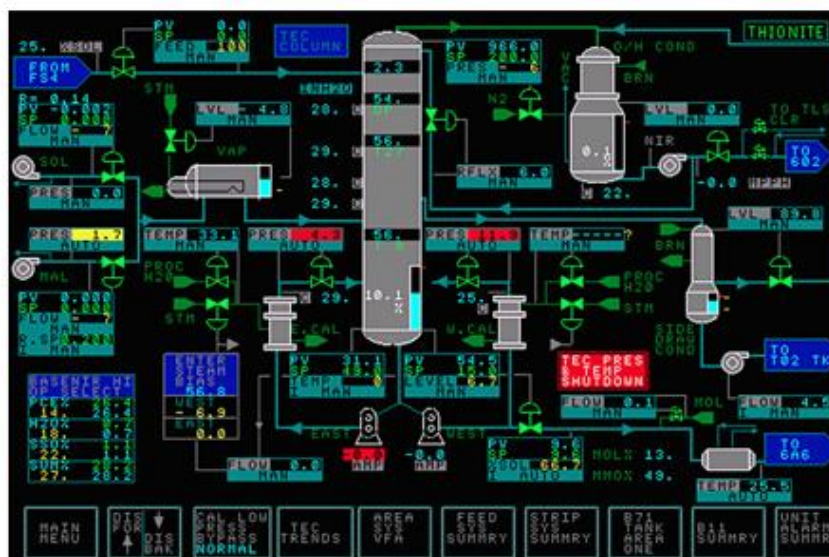


Рисунок 1 – Типичный НМИ 90-х годов



Рисунок 2 – Пример использования 3D для визуализации технологического процесса

Ориентируясь на вышеперечисленные правила создания эффективного НМИ, учитывая ситуационное восприятие информации человеком, был разработан ряд мнемосхем приемо-сдаточного пункта (ПСП) нефти и нефтеконденсата одной из нефтеперерабатывающих компаний РФ. Цветовая палитра экранных форм соответствует стандарту данной компании. Разработанная иерархия мнемосхем ПСП базируется на этапах технологического процесса прохождения нефти через ПСП. Первый уровень данной иерархии – «Общие технологические схемы», отражает общий вид одного из последовательных этапов технологического процесса (рисунок 3), либо объединение вспомогательных подобъектов, выполняющих схожую по технологии функцию (рисунок 4).

Второй уровень иерархии представлен подобъектом системы, или же небольшим их объединением (рисунок 5). На данном уровне подробно отображаются все регламентируемые техническим заданием сигналы, многие из которых были не отражены ранее на схемах первого уровня иерархии. Такое разграничение уровней обеспечивает отсутствие загромождение мнемосхем первого уровня ненужной в данный момент оператору информацией по сигналам, а мнемосхем второго уровня – наличием неактивных объектов.

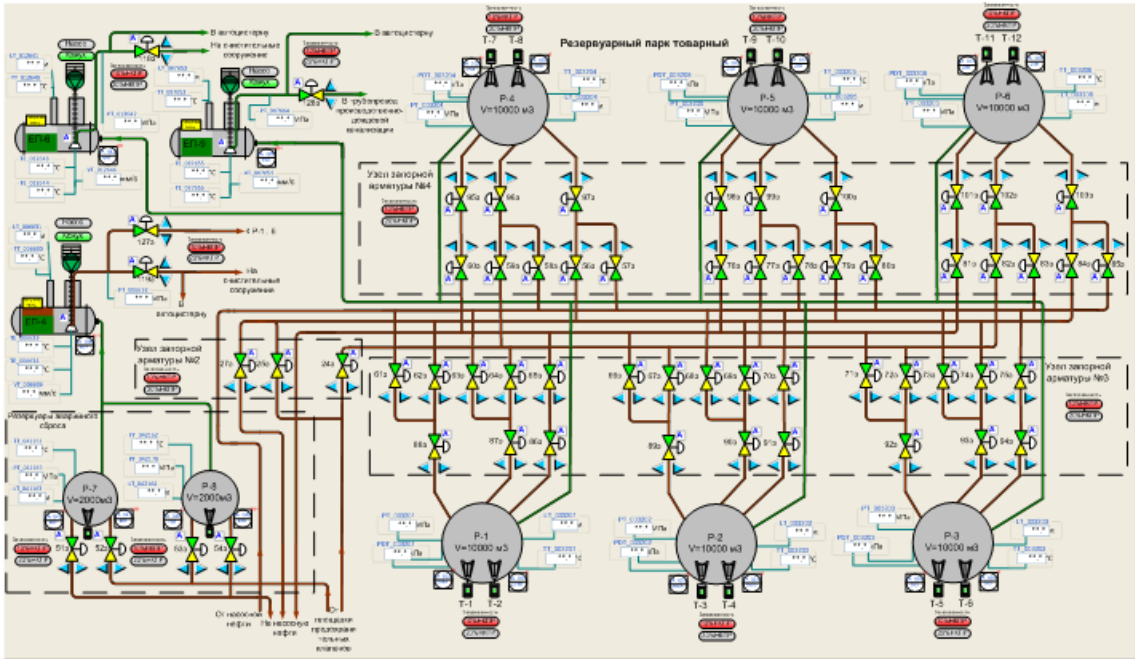


Рисунок 3 – Резервуарный парк ПСП. Общая технологическая схема

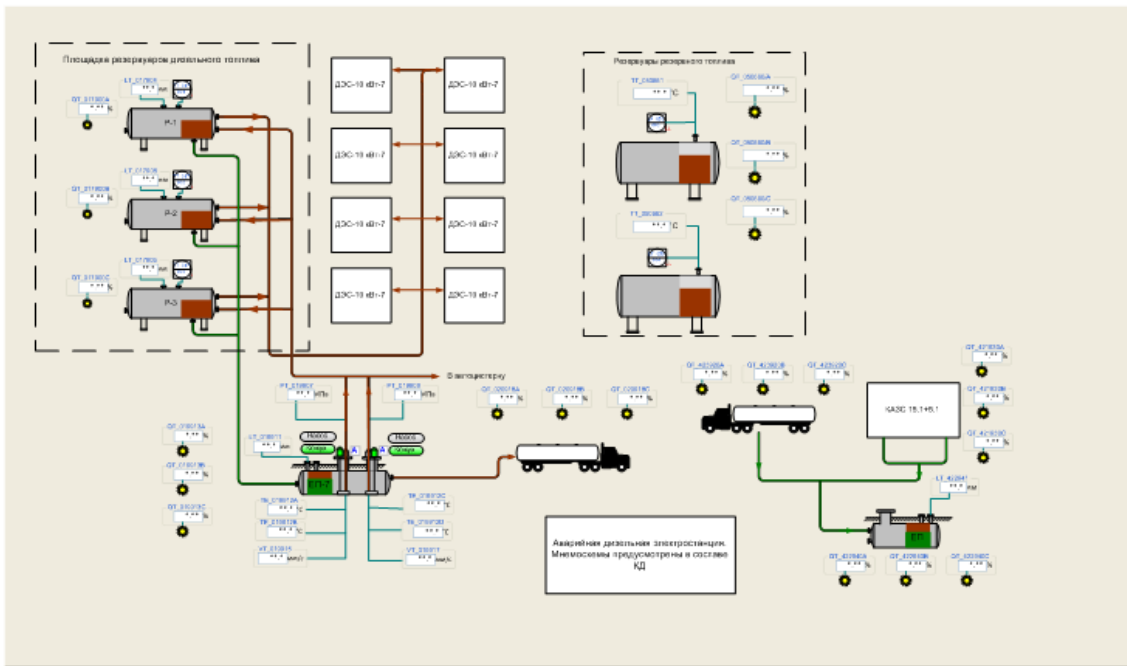


Рисунок 4 – Дизельное хозяйство ПСП

Третий уровень иерархии представляет собой группу диалоговых окон по подобъектам, где требуются дополнительные измерения, расчеты или ручной ввод не измеряемых датчиками параметров и величин, отражение вспомогательной информации по подобъекту (рисунок 5).

Новый подход к разработке НМИ, основанный на принципах ситуационного восприятия информации человеком, способен не только сократить процент аварийных ситуаций на производстве, повысить надежность взаимодействия человека с технологическим объектом и производительность предприятия, но также позволяет совершенствовать услуги, предоставляемые проектной организацией компаниям нефтегазовой промышленности.

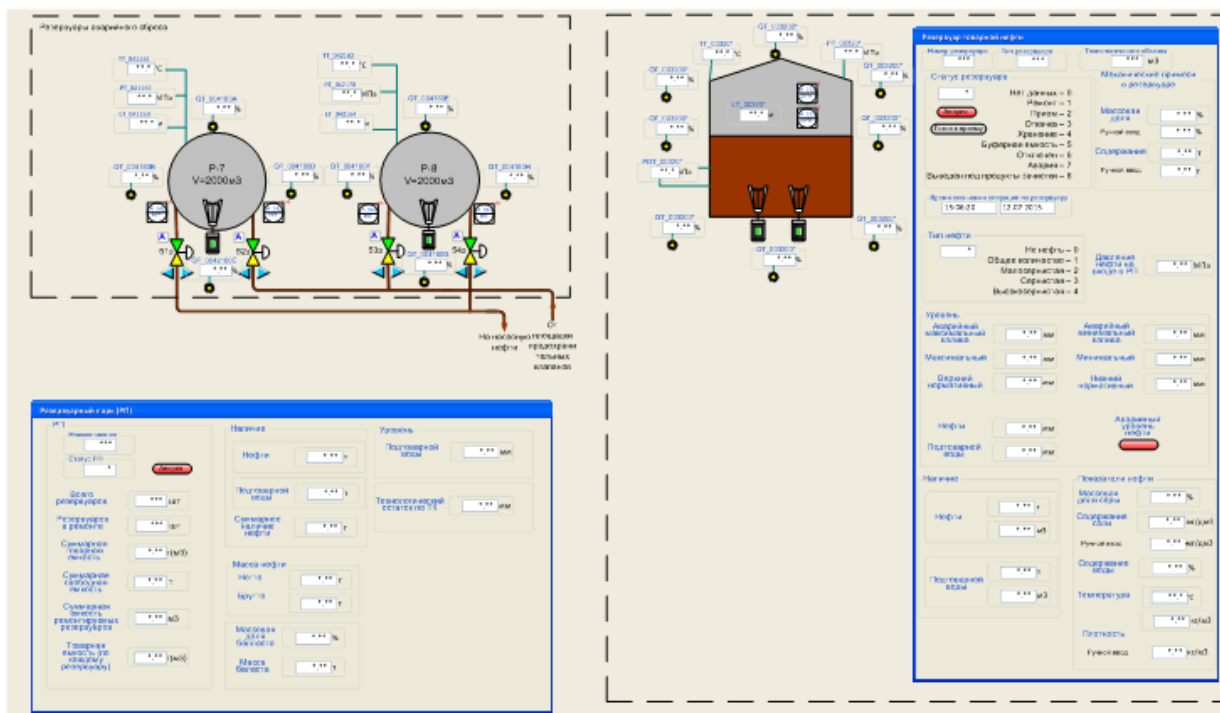


Рисунок 5 – Пример реализации второго и третьего уровней иерархии мнемосхем ПСП

Библиографический список

1. Краевски Д. Ситуационное восприятие. Новый подход к дизайну человеко-машинных интерфейсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wonderware.ru/pdf/Wonderware_WhitePaper_TheNextLeapInHMISituationalAwareness_ru_0314.pdf (дата обращения 15.10.2015).
2. Билл Р. Холлифилд Повышаем эффективность НМИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ua.automation.com/content/povyshaem-jeffektivnost-hmi> (дата обращения 20.10.2015).
3. ГОСТ 21480-76 «Система «Человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования».

К РАЗВИТИЮ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА SCADA-СИСТЕМ

Наумовская А.А., Тутов И.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

Введение

В настоящее время крупные автоматизированные системы в промышленной области и энергетике, в нефтегазовой области, в космической и военной сферах, в управлении транспортом основаны на принципах диспетчерского управления.

Диспетчерское управление и сбор данных – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – является основным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами. В таком методе управления диспетчер занимает центральное место, поэтому разрабатываемая система управления должна в первую очередь ориентироваться на человека. Если обратиться к статистике, то можно проследить следующую тенденцию: расследование и анализ большинства аварий в авиации, промышленности, энерге-

тике, водном, наземном транспорте, показали, что в шестидесятих годах 80 % причин аварий приходились на технологическую неисправность и отказ оборудования, и лишь 20 % – на человеческий фактор, в девяностых же годах 80 % причин аварий приходится на ошибку человека [1]. Такая тенденция связана с непрерывным усовершенствованием технологии и неуклонным ростом надежности создаваемого электронного оборудования и машин. В стремлении повысить степень автоматизации и функциональные возможности системы необходимость построения эффективного человеко-машинного интерфейса (HMI – Human-Machine Interface) зачастую недооценивается.

Основная часть

В настоящий период активно создаются все более мощные и при этом компактные вычислительные средства, большое внимание уделяется исследованию проблемы человеческого фактора в системах управления, а также оптимизации архитектуры систем диспетчерского управления и HMI-интерфейса. Человеко-машинный интерфейс (HMI) – инструмент, который представляет данные о ходе процесса оператору, позволяет контролировать процесс и управлять им [2]. К средствам HMI относят клавиатуру, координатные указатели (трекболы, джойстики, мыши), «тачпады» (от англ. «touchpad»), текстовые панели, панели с управляющим контроллером, сенсорные панели, дисплеи и т.д. Информация о технологическом объекте представляется в графическом виде при помощи мнемосхем, которые являются наглядным отображением структуры системы.

Ключевым звеном системы SCADA является оператор, именно он несет общую ответственность за управление системой, на него возлагаются регулярные задачи по управлению технологическим процессом и задачи по решению непредвиденных ситуаций [3]. К регулярным задачам относятся: остановка и запуск работы установки, осуществление контроля, внесение коррективов необходимых для стабильной работы системы. К задачам по решению непредвиденных ситуаций относят: выявление аномальных ситуаций, принятие мер по исправлению этих ситуаций, что позволяет избежать нарушения работы системы, обеспечение остановки производства при необходимости, обеспечение безопасности людей. При нормальных условиях система требует лишь подстройки каких-либо параметров и контроля со стороны оператора, при возникновении же критических ситуаций (отказ объекта управления, другие нештатные ситуации) оператор должен быстро и активно реагировать, в некоторых случаях его действия жестко ограничены во времени.

Для повышения эффективности и надежности систем диспетчерского управления необходимо при их создании применять новый подход, ориентированный на диспетчера [1]. Такой подход получил название «human-centered design» или «top-down» («сверху-вниз»), он кардинально противоположен традиционному подходу «hardware-centered» или «bottom-up» («снизу-вверх»), в котором основное внимание уделяется подбору технологического оборудования и программного обеспечения, а необходимость создания удобного для человека интерфейса игнорируется. О качестве исполнения системы диспетчерского управления можно судить по простоте, с которой оператор определяет и понимает событие, и по тому, насколько эффективно он может реагировать на это событие. Новый подход, по данным исследований Национального управления по авиации и исследованию космического пространства в США (NASA), позволил увеличить эффективность работы операторов и практически свести к нулю критические ошибки [1]. Для реализации нового подхода необходимо оптимизировать HMI-интерфейс и повысить степень интерактивности SCADA-систем.

Термин «интерактивность» происходит от английского слова «interaction», что в переводе означает «взаимодействие» (обмен действиями и реакциями на эти действия) [4]. Степень же интерактивности – это показатель, который характеризует насколько быстро и удобно пользователь может выполнить поставленную задачу. При повышении интерактивности SCADA-системы, необходимо руководствоваться следующими принципами:

- интуитивность (естественность);
- непротиворечивость;
- избыточность;

- непосредственный доступ к системе помощи;
- гибкость.

Определим сущность каждого из приведенных принципов.

Принцип интуитивности основывается на беспроблемной работе пользователя с системой. Оператор не должен испытывать сложностей при поиске необходимых элементов интерфейса.

Принцип непротиворечивости означает, что приемы работы с некоторой частью системы должны быть идентичны приемам работы в другой части этой системы. Работа с системой через интерфейс должна соответствовать установленным нормам (например, использование клавиш «Enter», «Delete»).

Принцип избыточности подразумевает минимизацию ввода пользователем информации, т.е. использование значений по умолчанию, там, где это возможно, автоматическое получение информации о работе системы и ее последующий автоматический вывод.

Принцип непосредственного доступа к системе помощи основывается на наличии всевозможных подсказок, инструкций для оператора и системы сообщений об ошибках. Сообщения об ошибках должны быть просты и понятны человеку.

Принцип гибкости подразумевает способность системы быть одинаково удобной как для опытного пользователя, так и для начинающего оператора.

При разработке мнемосхем для SCADA-системы необходимо уделять внимание следующим важным аспектам [5]:

- Плотность размещенной на экране информации;
- Цвет и яркость элементов интерфейса;
- Стандартизация экранных данных.

Плотность информации – это количество отображаемой на экране информации [6]. Чем больше информации расположено на экране, тем менее доступна и понятна отображаемая информация, и соответственно сложнее быстро реагировать на изменения в системе. При большой плотности рекомендуется группировать объекты, упорядочивать информацию с использованием рамок, цвета, негативного изображения и других методов.

Цвет является мощным инструментом создания интерфейса, позволяет повысить эффективность работы оператора. К тому же использование цвета позволяет создавать интерфейсы приятные и интересные для пользователя. Цвет используется для группировки информации, выделения различий между информацией, выделения сообщений. Но использовать цветовое оформление следует осторожно, нельзя использовать, например, слишком яркие и ядовитые оттенки, не рекомендуется создание слишком пестрых мнемосхем, так как это может вызвать дискомфорт у оператора. При использовании цвета следует руководствоваться следующими правилами: число используемых цветов должно быть ограничено, цвета используются в соответствии с пониманием пользователя (красный – ошибка, авария, недопустимый уровень величины; зеленый – нормальная работа, соответствие нормам; желтый – предостережение), группы данных должны иметь цвета соседние в спектре (оранжевый/желтый, синий/фиолетовый).

Для привлечения внимания оператора используется и другой инструмент – яркость. Изменение яркости используется для создания мигания, для сигнализации об изменении состояния объекта (активен – более яркий, неактивен – менее яркий). При использовании этого инструмента не рекомендуется создавать слишком яркие объекты, так как это вызовет дискомфорт при работе оператора.

Стандартизация подразумевает расположение на экране данных таким образом, чтобы оператор знал, где ожидать вывода необходимой информации [8]. Важная информация должна отображаться на видном месте, например, данные об объеме нефти в резервуаре, давления на участке нефтепровода. Справочная информация должна выводиться при необходимости, например в виде всплывающих окон, или нажатием на специальную кнопку.

Необходимо соблюдать определённые требования при создании приведенных ниже элементов мнемосхем [9].

1) Тексты, диалоги, сообщения.

Считается что текст, набранный в нижнем регистре, читается быстрее, чем текст в верхнем регистре. Необходимо использовать текст в верхнем регистре только для особо важной информации. Текст должен быть выровнен по ширине строки, так его удобнее воспринимать. Сообщения необходимы для информирования пользователя, для формирования подсказок и предложения пользователю выбора действия. Сообщения особенно полезны для подтверждения пользователем совершения того или иного действия. Информация в сообщениях должна быть четкой и лаконичной.

2) Средства управления.

Средствами управления являются всевозможные кнопки, переключатели, слайдеры. Средства управления при необходимости должны быть снабжены подсказками и располагаться таким образом, чтобы пользователю было понятно, к чему относится средство управления.

3) Меню.

Необходимый элемент любой автоматизированной системы – меню. Оно позволяет пользователю управлять процессом решения, выполнять задачи внутри приложения. Меню – набор опций, отображаемых на экране, где пользователи могут выбирать и выполнять действия, тем самым производя изменения в состоянии интерфейса. Меню особенно необходимо для работы с интерфейсом неопытного пользователя, который сможет выбрать необходимый элемент или действие среди пунктов меню. Меню должно быть эффективным и хорошо продуманным, его пункты должны иметь очевидные названия. Выбор пунктов меню должен быть обеспечен посредством нескольких средств интерфейса: клавиатуры, мыши и других. Необходимо ввести сочетания клавиш для быстрого доступа к наиболее часто используемым пунктам меню.

4) Формы.

Формы являются основой интерфейса. Основное назначение форм – это ввод, просмотр данных, состояний, сообщений. Формы проектируются таким образом, чтобы решение поставленной задачи достигалось более быстро и удобно. Информация в форме должна располагаться в соответствии с ее значимостью, частотой использования, важностью. Группы элементов необходимо объединять по логике использованием рамок, цвета и т.д. Взаимосвязанные элементы должны отображаться в одной форме.

5) Форматы ввода.

Значения по умолчанию должны выводиться во все поля, которые это допускают. Для часто вводимых значений должны быть предусмотрены специальные кнопки. Не рекомендуется объединять поля ввода цифр и букв. Поля ввода должны быть короткими и занимать мало места. Пользователь должен вводить только значимые числа, это ускоряет его работу, например, вместо значения 000355 – значение 355. Необходимо исключить частые переключения между верхним и нижним регистром при вводе текста.

6) Система навигации.

Система навигации позволяет пользователю переключаться между различными экранами, подпрограммами и единицами данных в системе, необходимо обеспечить и возможность слежения за объектами тех экранов, которые оператор не наблюдает в данный момент, чтобы во время его работы с одним участком производства, авария или ошибка, произошедшая на другом участке, не осталась незамеченной.

Заключение

Для создания эффективного HMI, разработчик системы SCADA должен, прежде всего, ориентироваться на потребности оператора. Разработчик должен стремиться к созданию максимально удобного интерфейса, который обеспечит эффективную работу и сведет к нулю возникновение критических ситуаций по вине оператора. Для разработки системы с повышенной интерактивностью необходимо руководствоваться приведенными в данной работе принципами и требованиями. Тогда разработанный интерфейс будет удобен и опытному профессионалу, и начинающему оператору. Современные SCADA-системы должны пред-

ставлять данные в максимально понятной и простой форме, HMI-интерфейс должен обеспечивать полноту и наглядность представляемой на экране информации, доступность «рычагов» управления, удобство пользования справочной информацией и наличие подсказок.

Библиографический список

1. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asutp.ru/?p=600365>
2. Человеко-машинный интерфейс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marshal-group.com/sovremennaya-evm-mnogo.html>
3. Журнал «ИСУП». Человеко-машинный интерфейс: зачем и почему? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/15/585/>
4. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>
5. Интерфейс человеко-машинный. Принципы приведения в действие. ГОСТ Р МЭК 60447-2000. – Издание официальное. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 20 с.
6. Д. Раскин. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. - СПб.: Символ-плюс, 2005. – 272 с.
7. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. – СПб.: Символ-Плюс, 2009. – 688 с.
8. Тидвелл Д. Разработка пользовательских интерфейсов. – СПб.: Питер, 2007. – 416 с
9. Человеко-машинный интерфейс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/TechLibrary/SolutionGuide/8-HMI.pdf>

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫМИ СЕРВИСАМИ В ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ*

Полежаев П.Н.

*Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия*

В настоящее время технология контейнеризации активно используется в области разработки ПО и его установке на оборудовании. Контейнер является эффективным решением, обеспечивающим для разработчиков возможность распространения программ с учетом всех зависимостей и необходимого окружения [1]. Контейнер изолирует в себе необходимые программные модули и файлы с данными. Для администраторов контейнер позволяет быстро развернуть или обновить программу на сервере эксплуатации, тестирования или на компьютере пользователя [2]. Контейнеризация решает проблемы зависимостей программ от разных конфликтующих версий библиотек.

Единожды собранный контейнер может быть запущен на любом сервере с ОС Linux. Также, при необходимости, он может быть легко перемещен с сервера на сервер.

Если сравнивать контейнеризацию и виртуализацию для размещения программ, то первая работает поверх ядра Linux и является очень легковесным решением с минимумом издержек производительности. В случае же виртуализации виртуальные машины работают под управлением гипервизора, который эмулирует аппаратное обеспечение компьютера. Также внутри каждой виртуальной машины функционирует полноценная операционная система, поверх которой работает программа. Все это приводит к значительным накладным расходам. Также контейнеры запускаются значительно быстрее, чем виртуальные машины.

Однако контейнеры не обеспечивают должный уровень изоляции, как виртуальные

* Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проекты № 15-07-06071 и № 15-47-02686), Президента Российской Федерации, стипендии для молодых ученых и аспирантов (СП-2179.2015.5).

машины, а также не поддерживают живую миграцию. Поэтому логичным решением является сочетание данных технологий при создании облачных ЦОД.

В наши дни облачные системы получили широкое распространение, они используются многими компаниями для размещения собственных ИТ-инфраструктур и/или бизнес-сервисов. Технология виртуализации является основой для реализации практически всех видов сервисов в облачных системах. Контейнеризация также может быть использована для размещения SaaS-сервисов внутри контейнеров поверх виртуальных машин или физических серверов.

На рисунке 1 приведена структурная схема системы управления программными сервисами в облачной системе, основанной на использовании обеих вышеупомянутых технологий.

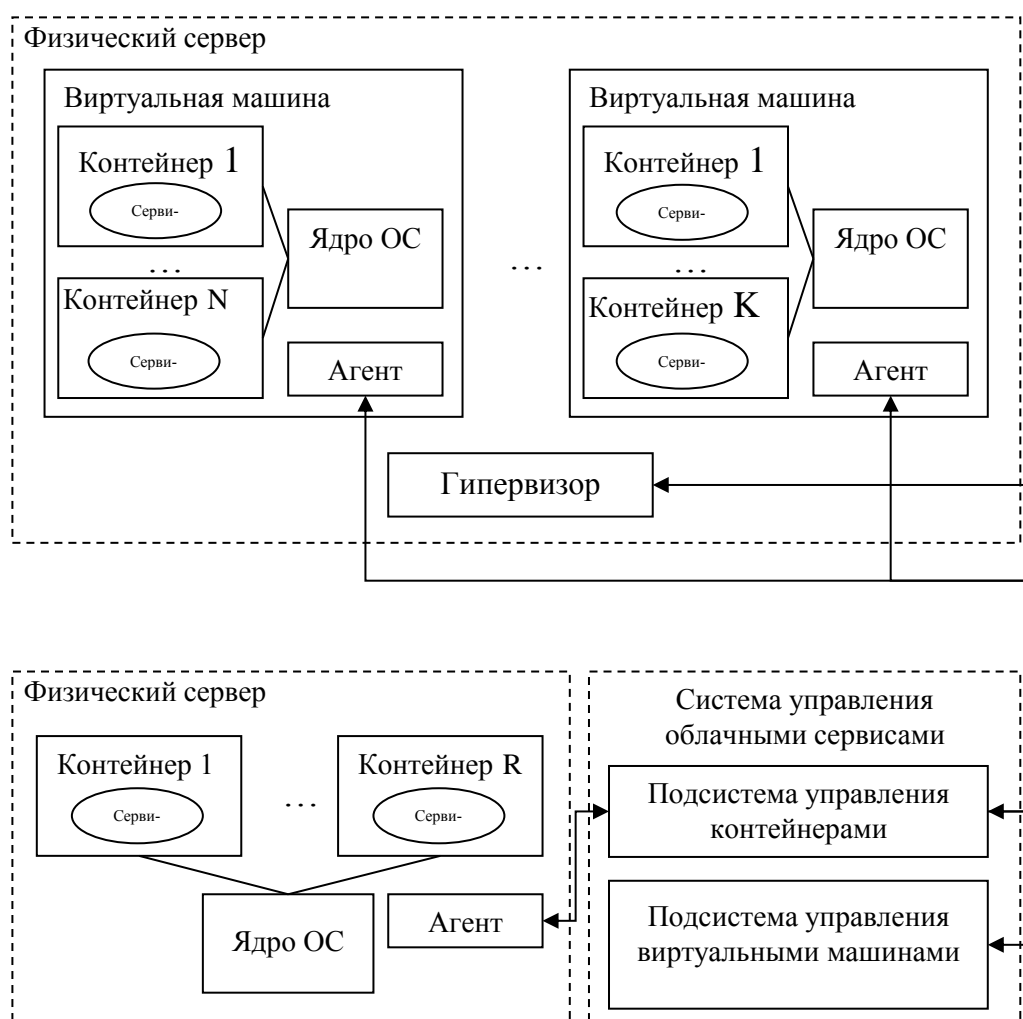


Рисунок 1 – Структура системы управления программными сервисами в облачной системе

Есть два варианта физических серверов. В первом варианте под управлением гипервизора на сервере разворачивается несколько виртуальных машин, в каждой из которых функционирует собственное ядро ОС, а также агент, который управляет развернутыми контейнерами. Во втором – поверх аппаратного обеспечения сервера устанавливается ОС, поверх ядро которого функционирует агент для контейнеров.

Внутри каждого контейнера запускается один или несколько связанных экземпляров облачных сервисов или их отдельных компонент.

Такой смешанный подход позволяет эффективно нагружать физические ресурсы серверов и обеспечивать должный уровень изоляции программ и данных.

Система управления облачными сервисами включает в себя две подсистемы, обеспечивающие ее функционирование – подсистему управления контейнерами и подсистему управления виртуальными машинами. Последняя представляет собой облачную систему, предоставляющую услуги IaaS [3] (например, OpenStack или OpenNebula).

Наиболее распространенными системами управления контейнерами в настоящее время являются Docker [4] и LXC [5]. Первый получил максимальное распространение из-за простоты использования, надежности, наличия открытого кода и удобного API для использования из сторонних проектов.

Каждый программный сервис облачной системы может быть представлен в виде динамического взвешенного ориентированного графа:

$$G(t) = (V, E, d(e, t), w(v)),$$

где V – множество вершин, представляющих собой компоненты сервиса;

E – максимальное полное множество дуг (сетевых соединений), допустимых между вершинами V ;

$d(e, t)$ – функция, определяющая количество передаваемых данных по дуге $e \in E$ в момент времени $t \geq 0$;

$w(v)$ – характеристики вершины $v \in V$.

Если $d(e, t) = 0$, то дуга e отсутствует в момент времени t .

Множество компонентов представляет собой следующее объединение:

$$V = P \cup Q \cup D \cup S,$$

где P – набор запущенных программ (процессов);

Q – множество используемых очередей, D – множество хранилищ данных;

S – множество точек взаимодействия со стандартными сервисами облачной системы (например, сервис СУБД, Hadoop [6], Machine Learning).

Каждое запущенное приложение $p \in P$ представляет собой параллельную программу, которая характеризуется следующим вектором:

$$w(p) = (n, m(t), u(t), c).$$

Здесь n – количество создаваемых потоков, $m(t)$ – объем используемой оперативной памяти в момент времени t , $u(t)$ – средняя загрузка вычислительных ядер в момент времени t , c – контейнер облачной системы, назначенный для исполнения программы.

Очередь $q \in Q$ характеризуется следующими параметрами:

$$w(q) = (l(t), a(t), c),$$

где $l(t)$ и $a(t)$ – соответственно размер очереди и общий объем хранимых в ней данных в момент времени t ;

c – контейнер, используемый для размещения очереди.

Каждое хранилище данных $d \in D$ имеет следующий набор параметров:

$$w(d) = (G, g(t), c),$$

где G и $g(t)$ – соответственно максимальный размер и текущий размер в момент времени t ;

c – контейнер, содержащий данное хранилище данных.

Данный динамический граф описывает отображение компонентов сервиса на контейнеры. Он будет использован при разработке алгоритма проактивной маршрутизации сетевого трафика с использованием технологии программно-конфигурируемых сетей [7 – 9].

Суть проактивной маршрутизации заключается в возможности устанавливать заранее (до запуска) маршруты передачи данных между компонентами облачного сервиса. Это позволит снизить время передачи данных по сети и увеличить пропускную способность облачных сервисов (количество обрабатываемых запросов в единицу времени).

Другой решаемой задачей является разработка алгоритма подбора ресурсов для запуска программного сервиса. Данный алгоритм должен, учитывая динамический граф сервиса, оптимально распределять компоненты по контейнерам, а контейнеры по виртуальным машинам или физическим серверам так, чтобы оптимизировать время обработки сервисом заявок пользователей. Для решения данной задачи планируется использовать методы искусственного интеллекта, в частности, генетический алгоритм.

Пусть имеется поток σ_λ заявок на выполнение программных сервисов, его интенсивность равна λ .

С целью оценки эффективности работы системы управления программными сервисами в облачных системах была предложена следующая система метрик:

а) U_{cores} – средняя загрузка вычислительных ядер физических серверов:

$$U_{cores} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{u}_i}{n} \cdot 100\% ,$$

где \bar{u}_i – средняя вычислительная загрузка ядер i -го сервера;

n – количество серверов;

б) T_{exec} – время выполнения алгоритма подбора ресурсов для запуска программного сервиса для всех заявок потока σ_λ :

$$T_{exec} = \max_{j=1, Q} T_{start, j} ,$$

где $T_{start, j}$ – время запуска соответствующего программного сервиса для обработки j -й заявки;

Q – общее количество заявок.

в) T_{resp} – среднее время отклика системы:

$$T_{resp} = \frac{\sum_{j=1}^Q T_{resp, j}}{Q} \cdot 100\% ,$$

где $T_{resp, j} = T_{finish, j} - T_{queue, j}$ – время отклика системы при обработке j -й заявки (разница между временем ее завершения и временем поступления в очередь);

г) CT – пропускная способность облачной системы:

$$CT = \frac{Q}{T_{exec}} .$$

д) L_{links} – коэффициент загрузки сетевых связей может быть вычислен по формуле:

$$L_{\text{links}} = \frac{\sum_{k=1}^r \sum_{l \in \text{Links}} \text{load}_{\varphi(l)}^{\text{device.port}}(t_k)}{r \cdot |\text{Links}|} \cdot 100\% ,$$

где r – количество замеров, которые проводятся в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_r ;

Links – множество всех сетевых связей в графе топологии физической структуры ЦОД облачной системы;

$\text{load}_{ij}^{\text{device.port}}(t_k) \in [0;1]$ – загруженность сетевой связи l , выходящей из j -го порта i -го сетевого устройства;

$\varphi(l)$ – функция, позволяющая получить индексы (i, j) для сетевой связи l .

Данного набора метрик достаточно для оценки основных вычислительных и сетевых параметров облачных систем.

В данной статье предложена концепция системы управления программными сервисами в облачной системе, основанная на сочетании технологий виртуализации и контейнеризации. Формализовано понятие программного сервиса в виде динамического взвешенного ориентированного графа. Описаны основные проблемы, которые должны быть решены при реализации данной системы. Также определены метрики оценки эффективности функционирования облачных систем.

Библиографический список

1. Docker. Introduction to Docker [Электронный ресурс] – Электрон.дан. – 2013. Режим доступа: <http://www.slideshare.net/dotCloud/docker-intro-november>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 01.11.2015)
2. Docker, Containers and the Future of Application Delivery [Электронный ресурс] – Электрон.дан. – 2013. Режим доступа: <http://www.slideshare.net/dotCloud/why-docker>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 01.11.2015)
3. The SaaS, IaaS And PaaS Of Cloud Computing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quartsoft.com/blog/201303/saas-iaas-and-paas-cloud-computing>. – Заглав. с экрана. – (Дата обращения: 01.11.2015).
4. Docker - Build, Ship, and Run Any App, Anywhere [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.docker.com/> – Заглав. с экрана. – (Дата обращения: 01.11.2015).
5. LinuxContainers.org Infrastructure for container projects. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://linuxcontainers.org/> – Заглав. с экрана. – (Дата обращения: 01.11.2015).
6. Welcome to Apache Hadoop! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hadoop.apache.org/> – Заглав. с экрана. – (Дата обращения: 01.11.2015).
7. Полежаев П.Н., Ушаков Ю.А., Поляк Р.И., Миронов А.П. Применение методов муравьиной колонии в разработке эффективных алгоритмов маршрутизации и обеспечения QoS для корпоративных программно-конфигурируемых сетей // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2014. – №4. – С. 106-113.
8. Полежаев П.Н., Бахарева Н.Ф., Шухман А.Е. Разработка эффективного генетического алгоритма маршрутизации и обеспечения качества обслуживания для программно-конфигурируемой сети. – Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 1 (176). С. 213-217.
9. Polezhaev P., Shukhman A., Konnov A. Development of educational resource datacenters based on software defined networks // Proceedings of 2014 International Science and Technology Conference «Modern Networking Technologies», 2014. – PP. 133-139.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Зацаринный А.А., Шабанов А.П.

ФИЦ «Информатика и управление» РАН,
г. Москва, Россия

Введение. В настоящее время управление деятельностью по противостоянию военным угрозам национальной безопасности России осуществляется на основе системы органов управления, в состав которой входят Национальный центр управления обороной (НЦУО РФ); на стратегическом уровне – центры управления главных командований видов ВС, командований родов войск ВС и региональные центры управления обороной в объединенных стратегических командованиях четырех военных округов и Северного флота; на оперативном уровне – территориальные центры управления обороной в командованиях общевойсковых армий, флотов, командованиях ВВС и ПВО; на тактическом (местном) уровне – пункты управления соединениями вооруженных сил [1–5].



Рисунок 1 – Иерархическая система органов управления

В статье рассматривается задача о возможности применения в системе органов управления известной технологии информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров [6]. В этой технологии используется система нормированных, критических, допустимых и фактических показателей, предоставляющая возможность для обоснованного выбора сценариев принятия и исполнения решений в условиях критических, предупреждающих и плановых ситуаций в деятельности организационных систем. При этом основным результатом, который может быть достигнут при внедрении данной технологии в практику управления войсками и оружием, является сокращение времени на принятие решений и их исполнение в органах управления.

1. Сетецентричность требований к информационной поддержке органов управления. В современных взглядах на информационную поддержку деятельности по управлению войсками и оружием получили распространение концептуальные схемы, основанные на интеграционном характере такой поддержки – сетевых проявлениях процессов (операций), систем, технологий, методов [7]. С учётом данного обстоятельства, к информационной поддержке системы органов управления (рис.1) могут быть предъявлены следующие

требования:

1) В интересах управления деятельностью по противодействию военным угрозам должно быть образовано общее информационное пространство, как совокупность информации, содержащейся в базах данных прикладных информационных систем, предназначенных для автоматизированной поддержки видов деятельности, осуществляемой органами управления по всей глубине построения войск. Должен быть обеспечен разграничительный доступ субъектов управления и средств автоматизации к информации в реальном времени с соблюдением установленных зон ответственности и с учётом влияния внешней среды.

2) Для обеспечения функционирования прикладных информационных систем должна формироваться информационно-телекоммуникационная инфраструктура (ИКТ-инфраструктура), включающая вычислительные, телекоммуникационные, информационные и вспомогательные системы и средства, подразделения информатизации (в т. ч., посты автоматизации и связи). Создание и функционирование ИКТ-инфраструктуры должно осуществляться в соответствии:

– с требованиями по своевременности и надёжности предоставления информации, достоверности и безопасности информации, защищённости от опасных программно-технических воздействий, предъявляемыми органами управления;

– с едиными для субъектов управления регламентами и едиными для составных частей ИКТ-инфраструктуры интерфейсами информационного взаимодействия, включая взаимодействие с субъектами и средствами автоматизации органов государственной власти (ОГВ).

При этом деятельность по управлению ИКТ-инфраструктурой является одним из видов деятельности, для поддержки которого должна быть образована специализированная прикладная информационная система, например – управляющая информационная система.

3) С целью сокращения времени на принятие субъектами управления решений в осуществляемых ими видах деятельности и на исполнение решений должны использоваться способы разработки и применения сценариев принятия решений в зависимости от разворачивающихся во времени ситуаций. В том числе, должны использоваться способы разработки и применения прогнозируемых и способы применения использованных ранее сценариев принятия решений по управлению ИКТ-инфраструктурой в условиях критических, предупреждающих и плановых ситуационных интервалов.

2. *Модель информационной поддержки принятия управляющих решений.* С учётом приведённых выше требований разработана технология информационной поддержки деятельности организационных систем [6]. При разработке данной технологии использовалась модель информационной поддержки принятия управляющих решений, которая отображена на рисунке (рисунок 2).

В данной модели представлены две группы технологий:

– технологии информационной поддержки принятия субъектами решений в отношении видов деятельности, осуществляемой в органах управления, в соответствии с их назначением;

– технологии управления информационной поддержкой – это технологии информационной поддержки принятия субъектами решений по управлению ИКТ-инфраструктурой.

Технологии информационной поддержки принятия решений обеспечивают субъектам управления возможность автоматизации, осуществляемой ими видов деятельности на основе прикладных информационных систем.

Технологии управления информационной поддержкой призваны обеспечить нормированное (заданное в требованиях) функционирование прикладных информационных систем. Выполнение действий в соответствии с этими технологиями осуществляют субъекты подразделений автоматизации и связи с использованием управляющей информационной системы. Функционирование управляющей информационной системы осуществляется на базе комплексов средств автоматизации, каждый из которых реализует не менее одного процесса управления. К этим процессам относятся процессы сбора данных о состоянии

средств ИКТ-инфраструктуры, процессы управления запросами пользователей (субъектов управления), событиями, инцидентами, проблемами, изменениями, конфигурациями, мощностью и другие [8]. С помощью этих процессов осуществляется управление информационными, вычислительными и телекоммуникационными системами и средствами, управление деятельностью подразделений информатизации (людскими ресурсами).



Рисунок 2 – Модель информационной поддержки принятия управляющих решений

В соответствии с приведённой выше моделью технология информационной поддержки деятельности организационных систем [6] содержит этапы моделирования, сбора данных о состоянии объектов наблюдения, анализа состояний информационных систем и общей ИКТ-инфраструктуры, принятия и исполнение решений по управлению компонентами ИКТ-инфраструктуры. Объектами наблюдения являются компоненты ИКТ-инфраструктуры и другие сущности, которые оказывают влияние на состояние информационных систем. Организационно-технической основой для выполнения этапов технологии являются ситуационные центры [9]. К классу ситуационных центров можно отнести и другие организационно-технические комплексы, назначением которых является обеспечение информационной поддержки организационных систем. Применительно к системе органов управления (рисунок 1), это могут быть посты автоматизации и связи, оснащённые программно-аппаратными комплексами (ПАК), обеспечивающие выполнение этапов технологии. Ниже представлена система показателей, используемых в данной технологии:

- n и N - Номер и число информационных систем, поддерживаемых ПАК.
- m и M - Условный номер и число органов управления ВС.
- D и D^* - Нормированный и фактический показатель состояния ИКТ-инфраструктуры.
- D_n и D_n^* - Нормированный и фактический показатель состояния n -й информационной системы.
- S_{nm} и S_{nm}^* - Нормированный и фактический показатель состояния n -й информационной системы в m -ом органе управления.
- α_n и β_{nm} - Приоритет n -й информационной системы и приоритет n -й информационной системы в m -ом органе управления.
- ΔD^* , ΔD_n^* и ΔS_{nm}^* - Показатели эффективности ИКТ-инфраструктуры, n -й информационной системы и n -й информационной системы в m -ом органе управления.

- $\Delta D_{\text{крит.}}$ - Критический показатель эффективности ИКТ-инфраструктуры, снижение, по сравнению с которым, показателя ΔD^* означает проявление угрозы.
- $\Delta D_{\text{доп.}}$ - Допустимый показатель эффективности ИКТ-инфраструктуры, снижение, по сравнению с которым, показателя ΔD^* означает возможность появления угрозы.
- $\Delta D_{n\text{-крит.}}$ - Критический показатель эффективности n -й информационной системы, снижение, по сравнению с которым, показателя ΔD^*_n означает проявление угрозы.
- $\Delta D_{n\text{-доп.}}$ - Допустимый показатель эффективности n -й информационной системы, снижение, по сравнению с которым, показателя ΔD^*_n означает возможность появления угрозы.
- $\Delta S_{nm\text{-крит.}}$ - Критический показатель эффективности n -й информационной системы, в m -ом органе управления, снижение, по сравнению с которым, показателя ΔS^*_{nm} означает проявление угрозы.
- $\Delta S_{nm\text{-доп.}}$ - Допустимый показатель эффективности n -й информационной системы, в m -ом органе управления, снижение, по сравнению с которым, показателя ΔS^*_{nm} означает возможность появления угрозы.
- k и l - Номер объекта наблюдения и номер его показателя; $k = 1, 2, \dots, K; 1, 2, \dots, L_k$.
- V^l_k и V^{*l}_k - Нормированный и фактический l -й показатель k -го объекта наблюдения.
- V^{nmk} и V^{*l}_{nmk} - Нормированный и фактический l -й показатель k -го объекта наблюдения с учётом его влияния на n -ю информационную систему в m -ом органе управления.
- V_{nmk} и V^*_{nmk} - Нормированный и фактический показатель состояния k -го объекта наблюдения с учётом его влияния на n -ю информационную систему в m -ом органе управления.
- ΔV^{*l}_{nmk} - Отклонение фактического l -го показателя от нормированного l -го показателя k -го объекта наблюдения, который оказывает влияние на n -ю информационную систему в пределах m -го органа управления.
- μ^l_k и γ_{nmk} - Приоритет l -го показателя k -го объекта наблюдения и приоритет k -го объекта наблюдения с учётом его влияния на n -ю информационную систему в m -ом органе управления.

4. *Правила выбора сценариев принятия решений.* На этапе моделирования разрабатываются и записываются в ПАК данные о нормированных, критических и допустимых показателях, о прогнозируемых сценариях принятия решений. На следующем этапе с помощью ПАК осуществляется сбор данных о фактических показателях объектов наблюдения. Затем с помощью следующих преобразований производится анализ состояния информационных систем и ИКТ-инфраструктуры:

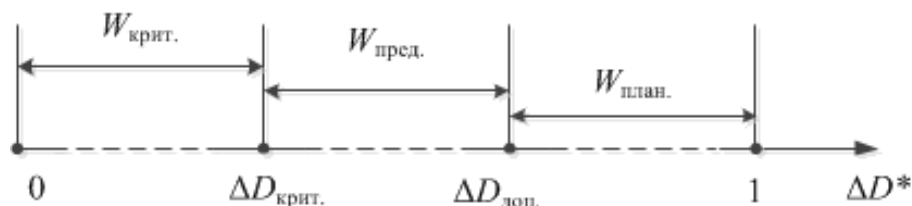
$$\begin{aligned} \Delta D^* &= D^* / D; \\ D^* &= \alpha_1 D^*_1 + \alpha_2 D^*_2, + \dots + \alpha_N D^*_N; \\ D &= \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2, + \dots + \alpha_N D_N; \\ \Delta D^*_n &= D^*_n / D_n; \\ D^*_n &= \beta_{n1} S^*_{n1} + \beta_{n2} S^*_{n2}, + \dots + \beta_{nM} S^*_{nM}; \\ D_n &= \beta_{n1} S_{n1} + \beta_{n2} S_{n2}, + \dots + \beta_{nM} S_{nM}; \\ \Delta S^*_{nm} &= S^*_{nm} / S_{nm}; \\ S^*_{nm} &= \gamma_{nm1} V^*_{nm1} + \gamma_{nm2} V^*_{nm2}, + \dots + \gamma_{nmK} V^*_{nmK}; \\ S_{nm} &= \gamma_{nm1} V_{nm1} + \gamma_{nm2} V_{nm2}, + \dots + \gamma_{nmK} V_{nmK}; \\ V^*_{nmk} &= \mu^1_k (V^1_{nmk} - \Delta V^*1_{nmk}) + \mu^2_k (V^2_{nmk} - \Delta V^*2_{nmk}) + \dots + \mu^{L_k}_k (V^{L_k}_{nmk} - \Delta V^*L_k_{nmk}); \\ \Delta V^*1_{nmk} &= |V^1_{nmk} - V^*1_{nmk}|; \\ V_{nmk} &= \mu^1_k V^1_{nmk} + \mu^2_k V^2_{nmk}, + \dots + \mu^{L_k}_k V^{L_k}_{nmk}. \end{aligned}$$

При производстве в ПАК приведённых выше преобразований все показатели представляются в виде двоичных данных и приводятся к одной размерности (в байтах).

Выбор сценария принятия решений производится с использованием следующей классификации:

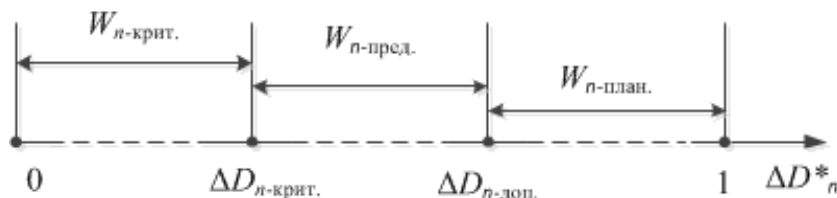
- $W_{nm-норм.}$ - Сценарии, предназначенные для установления объектов наблюдения в состоянии, соответствующие нормированному показателю устойчивости поддержки n -й информационной системы в m -ом органе управления, $n = 1, 2, \dots, N; m = 1, 2, \dots, M$.
- $W_{крит.}, W_{пред.}$ и $W_{план.}$ - Критические, предупреждающие и плановые сценарии, предназначенные соответственно для ликвидации угрозы, для предотвращения угрозы и для повышения устойчивости всей ИКТ -инфраструктуры.
- $W_{n-крит.}, W_{n-пред.}$ и $W_{n-план.}$ - Критические, предупреждающие и плановые сценарии, предназначенные соответственно для ликвидации угрозы, для предотвращения угрозы и для повышения устойчивости поддержки n -й информационной системы в целом.
- $W_{nm-крит.}, W_{nm-пред.}$ и $W_{nm-план.}$ - Критические, предупреждающие и плановые сценарии, предназначенные соответственно для ликвидации угрозы, для предотвращения угрозы и для повышения устойчивости поддержки n -й информационной системы в m -ом органе управления.

При отсутствии необходимого сценария, разрабатывается новый сценарий. Правила выбора сценариев принятия решений отображены на диаграммах (рисунки 4 и 5). В соответствии с этими правилами разработаны схемы компьютерных алгоритмов, которые приведены в описании патента [10]. Технические решения по реализации данных алгоритмов приведены в описании патента [11]. На рисунке 6 гипотетически показан основной результат – сокращение времени на принятие решений и их исполнение в органах управления ВС, который может быть достигнут при использовании технологии информационной поддержки деятельности [6].



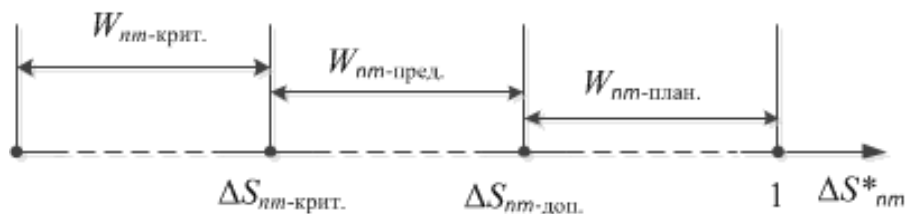
- если показатель ΔD^* – в диапазоне $0-\Delta D_{крит.}$, выбирается сценарий $W_{крит.}$;
- если показатель ΔD^* – в диапазоне $\Delta D_{крит.}-\Delta D_{доп.}$, выбирается сценарий $W_{пред.}$;
- если показатель ΔD^* – в диапазоне $\Delta D_{доп.}-1$, выбирается сценарий $W_{план.}$

Рисунок 3 – Выбор сценариев по управлению всей ИКТ-инфраструктурой (пример 1)



- если показатель ΔD^*_n – в диапазоне $0-\Delta D_{n-крит.}$, то выбирается сценарий $W_{n-крит.}$;
- если показатель ΔD^*_n – в диапазоне $\Delta D_{n-крит.}-\Delta D_{n-доп.}$, то выбирается сценарий $W_{n-пред.}$;
- если показатель ΔD^*_n – в диапазоне $\Delta D_{n-доп.}-1$, то выбирается сценарий $W_{n-план.}$

Рисунок 4 – Выбор сценариев по управлению информационной системой (пример 2)



если показатель ΔS_{nm}^* – в диапазоне $0-\Delta S_{nm-крит.}$, то выбирается сценарий $W_{nm-крит.}$;
 если показатель ΔS_{nm}^* – в диапазоне $\Delta S_{nm-крит.}-\Delta S_{nm-доп.}$, то выбирается сценарий $W_{nm-пред.}$;
 если показатель ΔS_{nm}^* – в диапазоне $\Delta S_{nm-доп.}-1$, то выбирается сценарий $W_{nm-план.}$

Рисунок 5 – Выбор сценариев по управлению информационной системой в органе управления (пример 3)

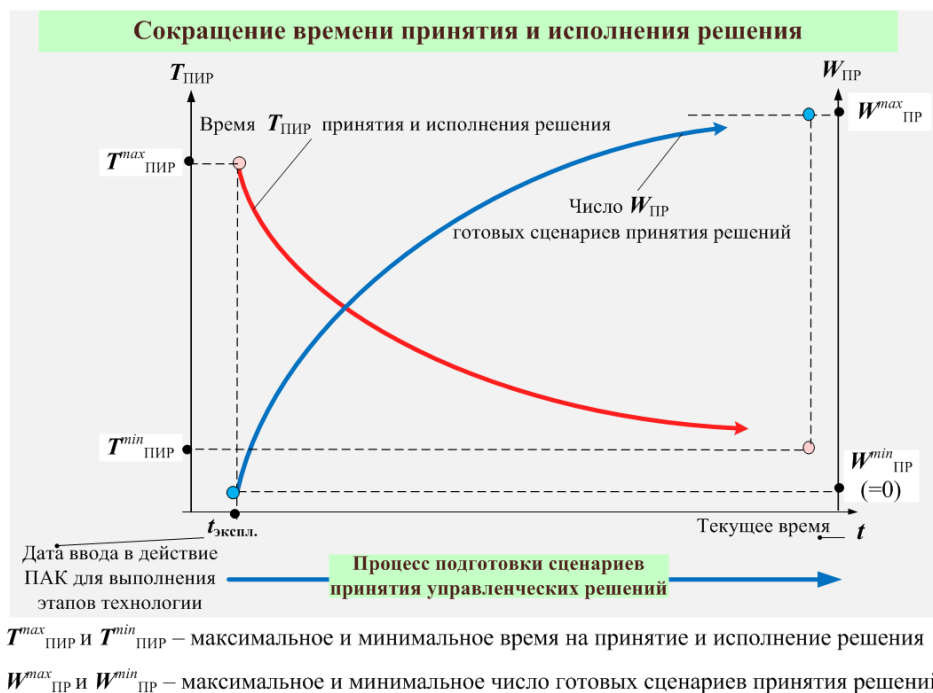


Рисунок 6 – Гипотетический общий результат от применения технологии

Заключение

1) Высокая степень регламентации действий и автоматизации этапов технологии информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров обуславливают возможность её применения для обеспечения информационной поддержки деятельности по противостоянию военным угрозам национальной безопасности России.

2) Инновационные решения, используемые в представленной технологии, приобретают особую значимость в связи с обострившейся внешнеполитической обстановкой, экономическим кризисом внутри страны – цена ошибочно принятого решения в этих условиях неизмеримо возрастает.

Библиографический список

1. Военно-технический форум «АРМИЯ-2015» // <http://www.rusarmyexpo.ru/>, обновл. 19.06.2015 г.
2. Гаврилов Ю. Приказ поступит из Центра // Российская газета, опублик. 27.10.2014 г., <http://www.rg.ru/2014/10/27/kartapolov.html>, обновл. 20.05.2015 г.
3. Владыкин О. Путин: Российская армия должна быть оснащена лучше зарубежных // Не-

- зависимое военное обозрение, опублик. 20.12.2014 г., http://www.ng.ru/armies/2014-12-20/100_collegium.html, обновл. 20.05.2015 г.
4. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года // Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537. – Российская газета, Федеральный выпуск № 4912, опублик. 19.05.2009 г.
 5. О формировании системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия // Указ Президента РФ № 648 от 25.07.2013 г.
 6. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров // М.: Торус Пресс, 2015 (Научное издание / Институт проблем информатики). 232 с.
 7. Кукушкин А.А. Сетецентрическая парадигма развития ситуационных центров // Орёл: Академия ФСО России, 2014. – 188 с.
 8. ITIL® V3 Glossary Russian Translation v0.92 // ITIL® V3 Translation Project. 30 Apr 2009.
 9. Зацаринный А.А. Ситуационные центры как основа информационно-аналитической поддержки принятия решений в органах государственной власти. Материалы Первой Всероссийской конференции «Аналитика развития и безопасности страны: реалии и перспективы» – М.: ООО «Агентство печати «Столица», 2014, с.277-296.
 10. Зацаринный А. А., Сучков А.П. Шабанов А. П. Способ поддержки деятельности организационной системы // Патент РФ RU2532723C2 на изобретение, опублик. 10.11.2014, бюл. № 31.
 11. Зацаринный А. А., Козлов С.В., Сучков А.П. Шабанов А. П. Система ситуационно-аналитических центров организационной системы // Патент РФ RU2533090C2, опублик. 20.11.2014, бюл. № 32.

СТРУКТУРНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ИТ-ПРОВАЙДЕРА

Пургина М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

К настоящему времени существует достаточно много исследований, посвященных системам управления, функционирующих в условиях координатной и структурной неопределенности [1 – 6]. Из числа этих исследований можно отметить работы школы С.В. Емельянова [3] по системам с переменной структурой, где структурная изменчивость сосредоточена в управляющей части системы.

Дальнейшее развитие этих работ связано с введением целенаправленного изменения структур объекта и появлением систем управления со структурным разнообразием [2, 4, 5]. В этих работах количество и тип структур заранее известны. Существует класс систем, в основном социально-экономических, в которых количество и тип структур заранее не определены и диктуются изменением внешних и внутренних условий функционирования. Для учета этих особенностей предложена система управления с конкретизацией для деятельности поставщика информационно-технологических услуг (ИТ-провайдера). Развитием теории систем управления с переменной структурой и систем со структурным разнообразием являются предлагаемые системы. Это, так называемые, системы управления со структурной неопределенностью (СУ СНО). Такие системы отличаются от систем с переменной структурой и от систем со структурным разнообразием (в широком смысле) тем, что будущие структуры системы управления СУ СНО, а также процедуры их формирования/изменения и количество возможных структур заранее не заданы. Поэтому необходимо включение в систему управления регулярно действующей подсистемы оптимизации (ОС), которая осуществляет анализ действующей структуры, выявляет ее недостатки, принимает решения о

необходимости изменения элементов системы, разрабатывает, внедряет и эксплуатирует новые структуры.

Представление о простейшей системе управления со структурной неопределенностью, в основу которого положены известные разработки в области систем со структурным разнообразием и систем управления с переменной структурой, дает рисунок 1.

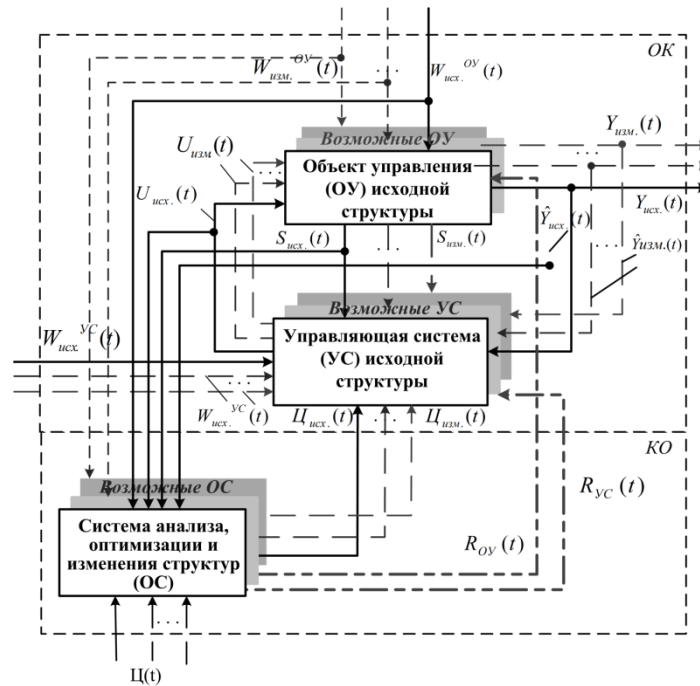


Рисунок 1 – Система управления со структурной неопределенностью

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: ———— — изначально заданные элементы структуры и связи системы управления; - - - - - создаваемые (в процессе функционирования) структурные элементы и связи; — — — — воздействия в виде структурных изменений; ОК – основной контур управления; КО – контур оптимизации; $Y_{исх.}(t), Y_{изм.}(t)$ – исходные и измененные выходные воздействия ОУ; $S_{исх.}(t), S_{изм.}(t)$ – исходные и измененные параметры состояния ОУ; $U_{исх.}(t), U_{изм.}(t)$ – исходные и измененные управляющие воздействия на ОУ; $W_{исх.}^{OU}(t), W_{изм.}^{OU}(t)$ – исходные и измененные внешние воздействия на ОУ; $W_{исх.}^{UC}(t), W_{изм.}^{UC}(t)$ – исходные и измененные внешние воздействия на УС; $R_{UC}(t), R_{OU}(t)$ – воздействия в виде изменения структур, элементов, связей и параметров УС и ОУ; $\hat{Y}_{\hat{e}i\hat{o}}(t), \hat{Y}_{\hat{e}c\hat{i}}(t)$ – оценочные значения выходных воздействий; $C_{исх.}(t), C_{изм.}(t)$ – исходные и измененные цели системы управления; $C(t)$ – цели системы управления. Непрерывными линиями на рисунке 1 описана исходная структура системы, а пунктирными линиями и тенями – ее возможное развитие в процессе функционирования.

Конкретизация СУ СНО для ИТ-деятельности. Большое значение системы со структурной неопределенностью имеют в ИТ-деятельности (организационных системах управления жизненным циклом ИТ-сервисов), где невозможно заранее предугадать в структуре системы управления ИТ-услугами (сервисами) изменения внешних факторов, таких как законодательства, бизнес-требований, которые необходимо отразить в действующих ИТ-сервисах, например, в автоматизированной системе расчета заработной платы.

Конкретизация системы со структурной неопределенностью применительно к управлению ИТ-деятельностью со встроенной системой оптимизации представлена на рисунке 2.

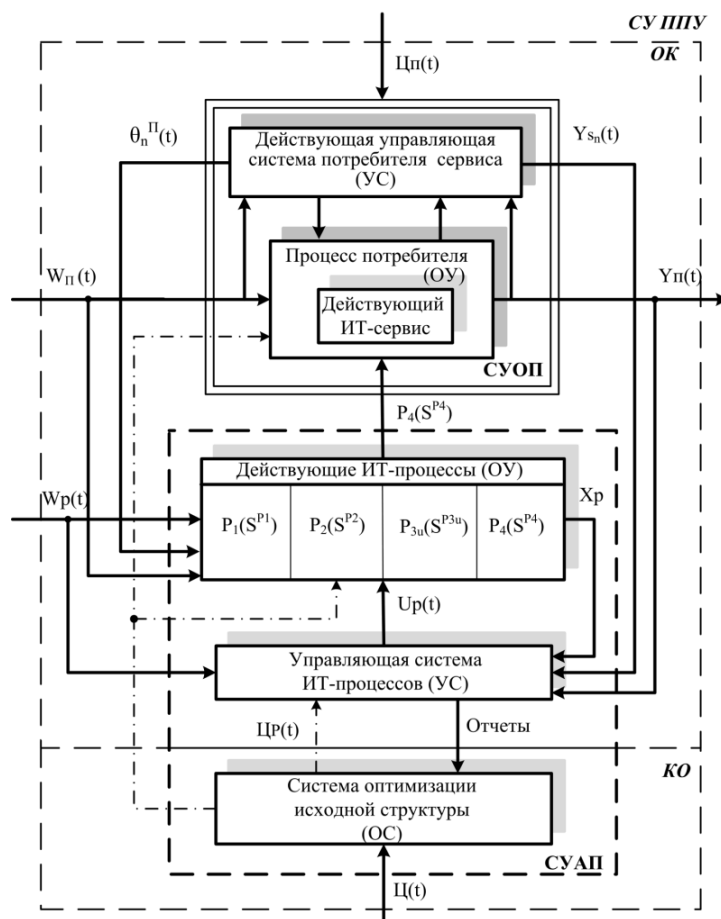


Рисунок 2 – Конкретизация системы со структурной неопределенностью для управления ИТ-деятельностью

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: СУ ППУ- система управления производством (стратегия, проектирование, внедрение и утилизация) и предоставлением (эксплуатация) ИТ-услуг; СУАП – система управления ИТ-активами провайдера; СУОП – система управления объектом потребителя сервиса; ОС – система анализа, оптимизации и изменения структур; $W_n(t)$, $W_p(t)$ – внешние воздействия на объект потребителя и систему управления ИТ-процессами в момент t ; $\theta_n^{II}(t)$ – управляющие воздействия от СУОП, направленные на эффективное применение и изменение свойств ИТ-сервиса; X_p – переменные состояния ИТ-процессов; $Y_{II}(t)$ – выходное воздействие объекта потребителя; $Y_{сн}(t)$ – обратная связь от СУОП; $U_p(t)$ – управляющие воздействия на ИТ-процессы; $Ц(t)$ -цели и ресурсы от вышестоящих систем; $Ц_{II}(t)$, $Ц_p(t)$ – цели и ресурсы управления объектом потребителя и процессами ИТ-провайдера; S^{Pk} -совокупность сервисов, подлежащих обработке соответствующими процессами P_k при $k \in \{1,2,3,4,u\}$; $P_1(S^{P1}), \dots, P_4(S^{P4})$ – процессы стадий жизненного цикла сервиса: 1 – разработки стратегии, 2 – проектирования, 3 – внедрения, 4 – эксплуатации, u – утилизации.

На рисунке 2 выделены два уровня системы управления производством и предоставлением ИТ-услуг. Первый уровень решает задачи реализации и оптимизации процессов $P_1(S^{P1}), \dots, P_4(S^{P4})$ стадий с учетом прямых и обратных связей между ними в пределах установленных операционных бюджетов (ОК). Второй уровень (КО) инициирует, формирует, и контролирует исполнение проектов по совершенствованию ИТ-процессов, которые требуют инвестиций.

Пример оптимизации структуры информационно-управляющей системы производственного объекта (прокатного стана 450) представлен на рисунке 3.

Изменение структуры ИУС влияет на производственные показатели эффективности

промышленного предприятия и снижает риски внеплановых простоев технологического оборудования. Изначально передача данных между ИУС цехов металлургического предприятия (обжимного и среднесортного) осуществлялась посредством ручного документооборота. Далее был разработан и реализован проект его замены автоматической системой передачи данных по каналам связи, и, соответственно, изменения структуры системы управления, что снизило риски остановки прокатного стана из-за отсутствия информации о заготовках в десятки раз.

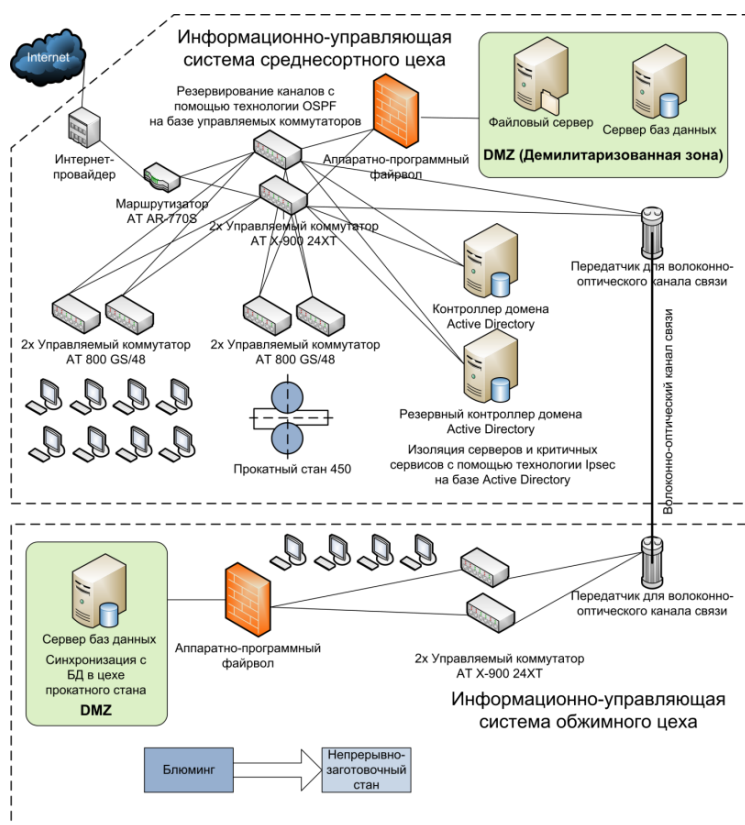


Рисунок 3 – Схема взаимодействия между ИУС обжимного и среднесортного цехов металлургического предприятия

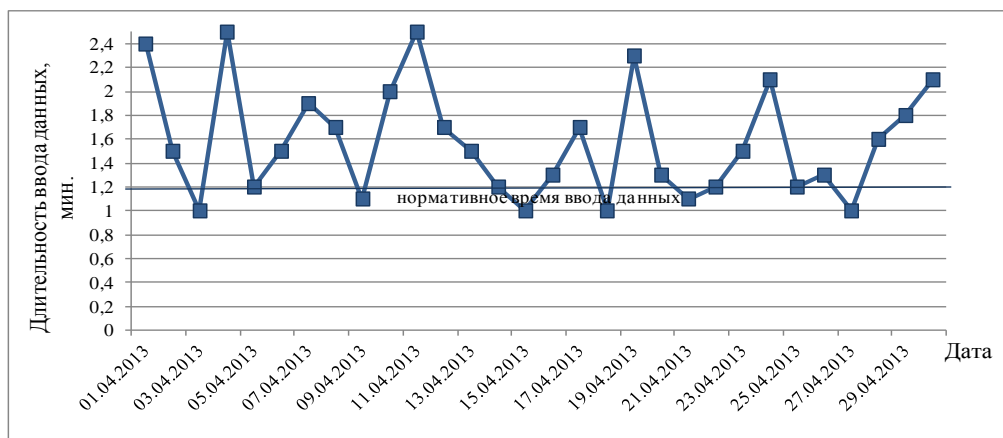
На рисунках 4 приведен пример изменения показателей эффективности инфраструктуры до и после изменения структуры ИУС производственного объекта. Представлены графики длительности простоев технологического объекта, вследствие ручного ввода информации в базу данных, например, о пришедших с обжимного в среднесортный цех партиях заготовок за один месяц с 01.04.2013 – 30.04.2013 (рисунок 4, а), а также график посуточного простоя технологического агрегата после реализации проекта о внедрении автоматизированной системы передачи данных по каналам связи (рисунок 4, б).

Допустимый уровень простоев агрегата (например, стан 450 металлургического предприятия) из-за ручного ввода данных составляет 1,2 мин./сутки. Из графика на рисунке 4, а видно, что фактические простои во многих случаях выше допустимых.

Ввиду этого предложен проект по смене структуры информационно-управляющей системы, представляющий собой канал связи, объединяющий информационные системы или локальные сети обжимного и среднесортного цехов предприятия. На графике на рисунке 4, б приведены данные посуточного простоя технологического агрегата после внедрения проекта с 01.05.2013 по 31.05.2013. Видно, что изменение структуры системы приводит к постепенному снижению показателя простоев агрегата до минимума, с 1,57 мин/сут. до 0,78 мин/сут., т.е. на 50,3 %, что соответствует экономии времени $\Delta t = 4,8$ ч/год.

Учитывая это, и исходя из производительности технологического агрегата (равной 220 т/час), можно оценить экономический эффект от смены структуры, составляющий около 1 млн. руб./год:

$$\mathcal{E} = \Delta ВП \cdot П_{ПР} = 1056 \cdot 790 = 834\,240 \text{ руб./год.} \quad (1)$$



а



б

а – до изменения структуры ИУС производственного объекта;
б – после изменения структуры ИУС

Рисунок 4 – Длительность простоя технологического агрегата из-за отсутствия данных о партиях поступающих заготовок

Средняя производительность среднесортного цеха (Пц) составляет 220 т/ч. Дополнительный выпуск продукции $\Delta ВП$ стана 450 после внедрения проекта по смене структуры информационно-управляющей системы составляет:

$$\Delta ВП = П_{Ц} \cdot \Delta t = 220 \cdot 4,8 = 1056 \text{ т/год.} \quad (2)$$

Прибыль с тонны готовой продукции (Ппр) на стане 450 составляет 790 руб./т. Определим экономический эффект от смены структуры по формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta ВП \cdot П_{ПР} = 1056 \cdot 790 = 834\,240 \text{ руб./год.} \quad (3)$$

Необходимо дальнейшее развитие систем управления с переменной структурой за счет разработки нового класса систем управления со структурной неопределенностью с конкретизацией для управления социально-экономическими системами.

Библиографический список

1. Петров, Б.Н. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем / Б.Н. Петров, В. Ю.Рутковский, И.Н. Крутова, С.Д. Земляков -М.: Машиностроение, 1972. - 259 с.
2. Мышляев, Л.П. Системы управления со структурным разнообразием /Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин //Системы автоматизации в образовании науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. 28-30 ноября 2013 г. Новокузнецк: СибГИУ, 2013. - С. 7-12.
3. Емельянов, С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой/ С.В.Емельянов. – М.: Наука, 1967. – 336 с.
4. Емельянов, С.В. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности / С.В.Емельянов, С.К. Коровин. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.
5. Мышляев, Л.П. Состояние и пути развития систем управления со структурным разнообразием /Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, К.А. Ивушкин, В.В. Грачев, М.В. Ляховец // Известия вузов. Черная металлургия. -2015. -№ 5. – С. 376-379.
6. Рей, У. Методы управления технологическими процессами/ У. Рей. – М.:Мир, 1983. – 368 с.

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НА БАЗЕ МУЛЬТИКОПТЕРА И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**Карпушин П.А.¹, Лавриненко А.В.², Молдованова Е.А.³,
Попова К.Ю.¹, Попова А.И.⁴, Попов Ю.Б.⁴**

¹*Томский университет систем управления и радиоэлектроники, ТУСУР,*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,*

³*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ТПУ,
г. Томск, Россия*

⁴*Сургутский Государственный университет, Политехнический институт, СГУ,
г. Сургут, Россия*

Измерения метеорологических величин (МВ) в вертикальном профиле пограничного слоя атмосферы (ПСА) выполняют контактными методами (КМ) с помощью датчиков, размещенных на шарах-зондах, самолетах и аэростатах. Неуправляемый полет шаров-зондов с отклонением от точки старта при подъеме на расстояние до 60 км в горизонтальной плоскости, не позволяет выполнять строго вертикальные измерения. Самолет является дорогостоящим носителем и также не обеспечивает измерений строго вертикального профиля. Использование аэростатов сложно в обслуживании и ограничено высотой подъема. Поэтому в последнее время интенсивное развитие получили дистанционные методы измерений (ДМИ), использующие данные со спутников, наземных лидаров и содаров. Однако, методы ДМИ требуют периодической верификации соответствия опосредованных измерений фактическим значениям МВ с помощью КМ. В связи с этим возникает необходимость разработки новых методов измерений МВ в ПСА, с использованием современных технических решений. Одним из направлений, бурно развивающихся в последние годы, является применение для обширного перечня прикладных задач беспилотных летательных аппаратов (БПЛА или иначе дронов). Среди известных БПЛА наибольший интерес вызывают мультироторные аэромобильные платформы (МАП), иначе мультикоптеры. Данные аппараты обладают высокой надежностью, простотой конструкции, компактностью и маневренностью, стабильностью полета, малой взлетной массой при значительной массе полезной нагрузки. Конструкция, динамические характеристики, наличие программируемого полетного кон-

троллера и GPS навигатора позволяют аппарату подниматься строго вверх, до высот 2 – 4 км. При этом за один полет обеспечивается измерение сразу двух вертикальных профилей МВ – во время подъема и во время спуска.

Таким образом, основными целями создания комплекса является:

- обеспечение верификации дистанционных методов измерений (ДМИ) с требуемой точностью;
- обеспечение сбора метеорологических измерений вдоль заданного маршрута с привязкой к пространственным и высотным координатам, и синхронизированных во времени;
- обеспечение высокой оперативности сбора данных измерений с требуемой периодичностью и пространственно- временным разрешением;
- расширение возможностей контактных методов измерения;
- повышение качества сверхкраткосрочных метеорологических прогнозов и сбора оперативной метеорологической информации при чрезвычайных ситуациях.

Мобильный комплекс мониторинга и прогноза метеорологической обстановки в ПСА представлен двумя составляющими: программно-алгоритмической, спроектированной на принципах, заложенных в информационно мобильном комплексе [1], а также [2] и аппаратной частями.

Аппаратная составляющая комплекса.

В качестве аппаратной составляющей выступает система сбора информации, выполненная на базе мультироторной аэромобильной платформы. В настоящее время разработаны и используются платформы, оснащенные 6, 8 и более двигателями, называемые мультикоптерами. Они обеспечивают увеличение надежности системы в целом, а так же снижение вибраций в полете.

Несущая платформа оснащается: полетным контроллером, системой навигации на базе ГЛОНАСС/GPS и системой дистанционного управления. Это позволяет контролировать мультикоптер в пределах радиуса действия приемо-передающей аппаратуры, а так же выполнять полет по запрограммированному маршруту автоматически с использованием ГЛОНАСС/GPS. Также, платформа имеет возможность выполнять «площадку», т.е. зависание в воздухе на заданной высоте, выполнять автоматический взлет и посадку в заданной точке. Набор бортовых датчиков для измерений МВ определяется характером решаемой задачи и грузоподъемностью платформы. Типичная грузоподъемность известных недорогих моделей мультикоптеров составляет 1,5-2 кг. На рисунке 1 представлена структурная схема аппаратной части комплекса, с полетной (платформа) и наземной (базовая станция) компонентами.



Рисунок 1 – Структурная схема аппаратной составляющей комплекса

Мобильный комплекс способен работать в двух режимах: автономном, когда используются данные измерений только с датчиков МАП и смешанном, когда совместно с измерениями МАП система усваивает наблюдения альтернативных источников, например, данные из интернета, в виде телеграмм КН-04 данных с метеорологических спутников и др.

Информация с борта МАП на базовую станцию может поступать в двух режимах: основном, после завершения полёта и дополнительном, в режиме on-line, через беспроводные системы обмена информацией.

Кроме того, мобильный комплекс может быть использован как недорогое и эффективное средство при решении задач высококачественной фото и видео съемка с воздуха. Это необходимо при работе в труднодоступных местах в интересах МЧС для контроля за очагами лесных пожаров, при техногенных и природных катастрофах. А также в интересах предприятий энергетического комплекса для контроля состояния трубопроводов, ЛЭП и плотин.

В зависимости от оснащения платформы датчиками измерений МВ, мобильный комплекс способен измерять высотные профили скорости и направления ветра, температуры, давления, точки росы, влажности воздуха и геопотенциала. Совместное использование результатов фото и видео съёмки и инструментальных наблюдений за метеорологическими параметрами позволяет повысить точность оценки текущей метеорологической обстановки и сверхкраткосрочного прогноза погоды, оценки различных неблагоприятных метеорологических явлений: торнадо, ураганов, града, смерчей. Подобные системы возможно использовать во время проведения массовых мероприятий, таких как олимпийские игры [3], а также при решении задач оборонного характера.

2. Программно-алгоритмическая составляющая мобильного комплекса

На рисунке 2 представлена структурная схема Программно-алгоритмической составляющей мобильного комплекса, которая применяется для оценки и прогноза текущей и ожидаемой метеорологической обстановки и верификации данных дистанционного зондирования пограничного слоя атмосферы.

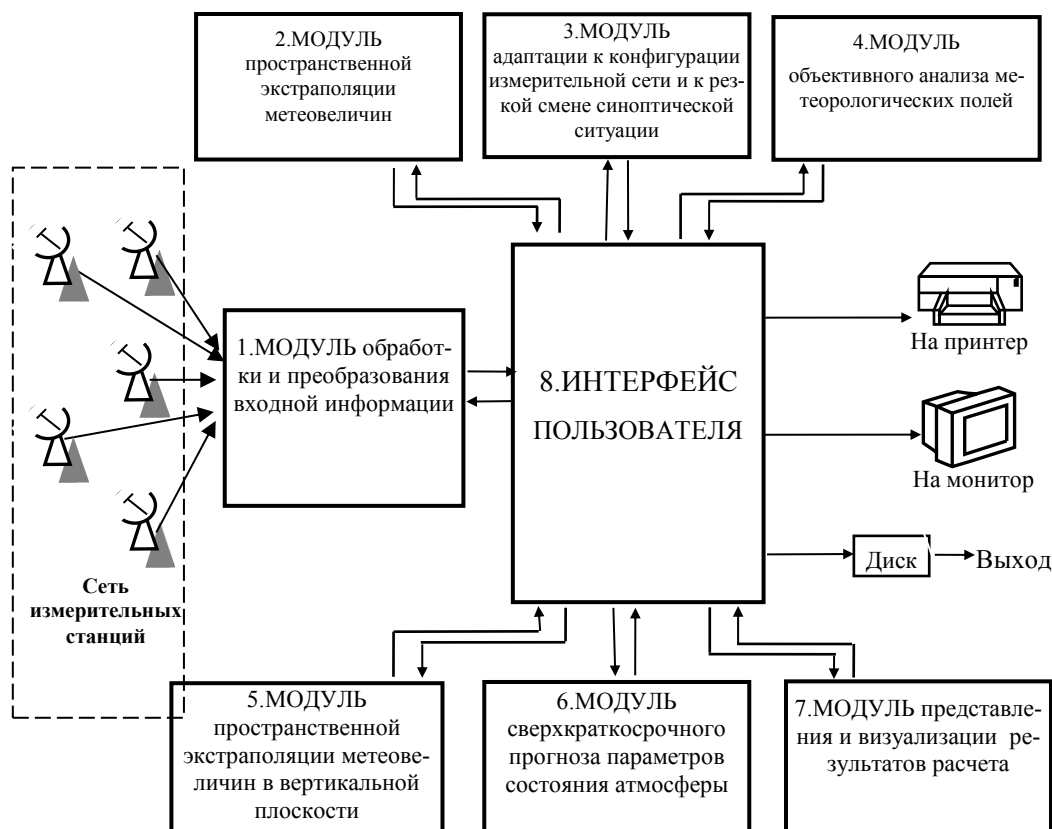


Рисунок 2 – Структурная схема программно-алгоритмической составляющей мобильного комплекса

Она состоит из восьми блоков и предназначена для решения следующих задач:

– мониторинг полей метеорологических величин вдоль трассы полёта мультикоптера;

– измерение вертикальных профилей температуры, влажности воздуха, скорости, направления ветра и давления до высоты 4,0 км над точкой запуска мультикоптера, а также восстановление и верификация полей метеорологических величин, полученных с помощью дистанционных методов измерения, для точек пространства удалённых от места запуска не более чем на 150 км;

– сверхкраткосрочный, с заблаговременностью 3 – 12 ч., прогноз параметров атмосферы (температуры, влажности, давления и ветра), на основе данных, измеренных аппаратурой мультикоптера;

– пространственная интерполяция полей геопотенциала, температуры, влажности и ветра в точку пространства или вдоль траектории до расстояния 150 км) при наличии данных метеорологических или аэрологических станций в пределах данной области, или в узлы заданной регулярной сетки мезомасштабной области;

– представление результатов расчётов в табличном, графическом и картографическом видах.

Программно-алгоритмическое обеспечение работы мобильного комплекса, основанное на малопараметрических динамико-стохастических моделях и алгоритме фильтра Калмана, претерпело изменения по сравнению с [4]. Для сверхкраткосрочного прогноза используется трёхмерная динамико-стохастическая модель вида:

$$\xi_{s,h,k} = \sum_{s=1}^n \sum_{m=h-i}^{h+i} \sum_{j=1}^K d_{s,m,j} \xi_{s,m,k-j} + \varepsilon_{s,h,k}, \quad (1)$$

где $\xi_{s,h,k}$ – значение s -ого метеорологического поля на высоте h и в момент времени k ;

m – текущая высота в высотном окне, взятом в качестве предиктора;

j – текущее дискретное время;

$d_{s,m,j}$ – неизвестные параметры;

$\varepsilon_{h,k}$ – невязка модели.

Для пространственной интерполяции в узлы регулярной сетки и вдоль заданной траектории используется малопараметрическая динамико-стохастическая модель с вертикальной компонентой [5], которую можно записать в виде:

$$\xi_i(k+1) = \xi_i(k)(1 - \alpha\Delta t)(1 - \beta\Delta\rho_0)(1 - \gamma\Delta h_{j0}) + \varepsilon_1(k), \quad (2)$$

где $\xi_i(k+1)$ – значение поля метеорологического параметра в точке i , подлежащее оцениванию/восстановлению в момент времени $k + 1$, на высотном уровне h_{j0} , находящейся на неосвещённой метеорологической информацией территории;

α , β , γ – коэффициенты временной, пространственной и высотной связи соответственно, при условии, что временные, пространственные и высотные корреляционные функции описываются выражениями $\mu(\Delta t) = e^{-\alpha\Delta t}$, $\mu(\Delta\rho) = e^{-\beta\Delta\rho}$,

$$\mu(\Delta h) = e^{-\gamma\Delta h};$$

$\varepsilon_1(k)$ – случайные возмущения, учитывающие стохастический характер модели.

3. Технические характеристики мобильного комплекса

В таблице 1 приведены основные тактико-технические характеристики мобильного комплекса, который развёрнут на персональном компьютере Pentium-VI с четырёхядерным процессором с тактовой частотой 2,8 ГГц, и оперативной памятью 6 Гбайт. Комплекс ориентирован на работу в операционной среде Windows-XP/Vista./7/8.

На рисунке 3 показано главное окно мобильного комплекса.

Таблица 1 – Технические характеристики автоматизированной метеорологической системы с использованием квадрокоптера

| Наименование | Значение |
|--|----------------|
| Количество станций, источников аэрологической информации, необходимых для восстановления поля метеорологического параметра в сетку или вдоль траектории, не считая квадрокоптера | min 2 |
| Высотный диапазон работы комплекса | от 0 до 4,5 км |
| Шаг восстановления и прогноза по высоте | от 1 м |
| Предельный радиус восстановления параметров метеорологических величин | до 150 км |
| Шаг сетки объективного анализа | от 1 км |
| Точность сверхкраткосрочного прогноза с заблаговременностью 6 ч | |
| – температуры | 1,8 °С |
| – ортогональных компонентов скорости ветра (до 2 км и $V < 30$ м/с) | 2,0 м/с |
| – ортогональных компонентов скорости ветра (свыше 2 км и $V < 30$ м/с) | 3,0 м/с |
| – влажности воздуха | 10% |
| Точность восстановления высотных профилей метеорологических параметров на расстоянии не более 100 км от квадрокоптера | |
| – температуры | 1,1 °С |
| – влажности воздуха | 10% |

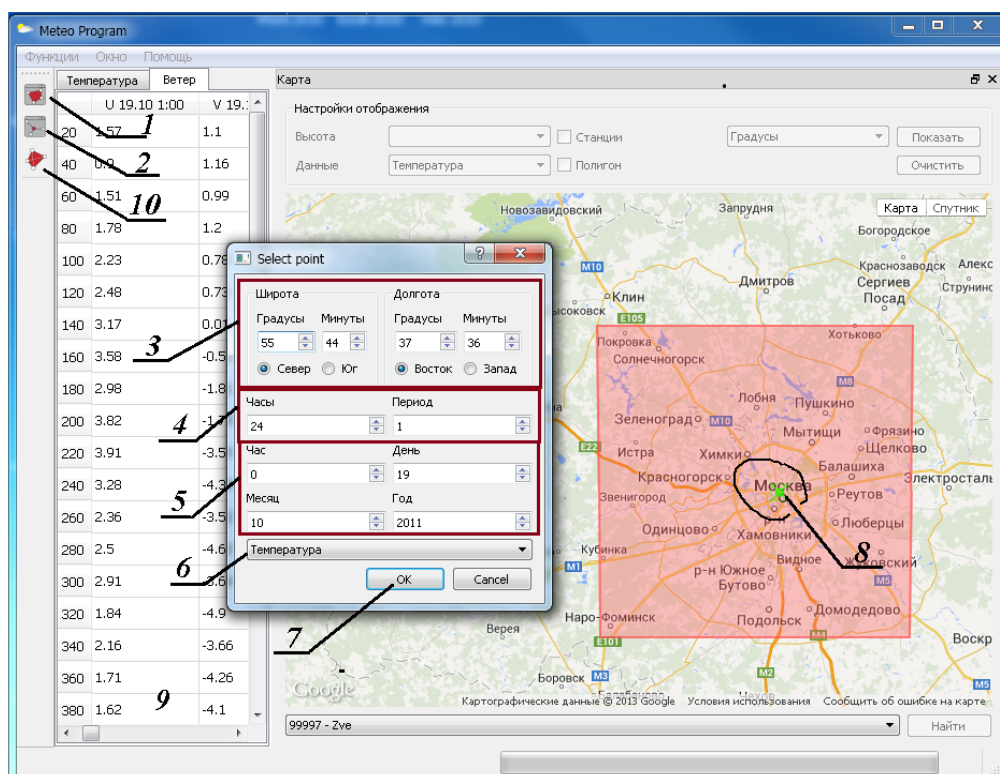


Рисунок 3 – Интерфейс программы мобильного комплекса. Главное окно системы

4. Результаты работы мобильного комплекса

Для проверки заявленной точности работы мобильного комплекса были использованы данные двухсрочных (0000 и 1200 GMT) радиозондовых наблюдений аэрологических станций: Москва, Смоленск, Рязань, Сухиничи, Курск и др. за 2010 – 2014 гг.

На рисунке 4 представлены результаты сверхкраткосрочного прогноза ортогональных компонентов скорости ветра для станции ИФА им. Обухова для измерений за 2011 и 2012 гг.

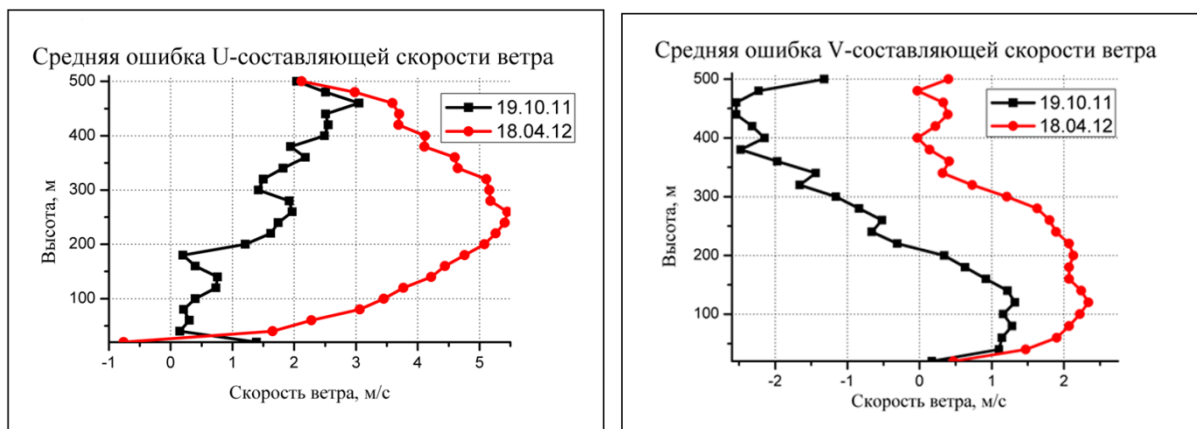


Рисунок 4 – Зависимости средней абсолютной ошибки сверхкраткосрочного прогноза ортогональных компонентов скорости от высоты для заблаговременности 24 часа

4. Заключение

На данный момент разработана программно-алгоритмическая часть мобильного комплекса. Апробированы методики и получены результаты сверхкраткосрочного прогноза полей метеорологических величин, восстановления высотных профилей и верификации результатов измерений метеорологических полей дистанционными методами зондирования. Ближайшими перспективными задачами являются:

- создание программно-аппаратного комплекса (ПАК), обеспечивающего верификацию и калибровку оборудования дистанционного зондирования, а так же восстановление сбойных вертикальных профилей, полученных дистанционными методами;
- разработка базовых технологий, необходимых для создания измерительных пунктов разветвленной необслуживаемой сети, использующей МАП;
- создание на базе ПАК коммерческих продуктов для потенциальных потребителей, в области предоставления услуг по восстановлению и сверхкраткосрочному прогнозу полей МВ.

Библиографический список

1. Горев Е.В., Дубовик К.Ю., Лавриненко А.В., Комаров В.С. Информационный мобильный комплекс для оценки и прогноза текущей и ожидаемой метеорологической обстановки в области мезомасштаба. // Системы автоматизации в образовании науке и производстве: Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, СибГИУ 2011, с. 7 – 13.
2. Попов Ю.Б., Попова А.И., Карпушин П.А., Дубовик К.Ю. Радиофизический комплекс экспресс анализа состояния атмосферы. // Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Том 1. – Материалы VIII Международного симпозиума. – М.: РАН, 2013. – С. 206.
3. Liu Y., and Coauthors, Development and evaluation of a real-time FDDA and forecast system for the year-2002 SLC Olympics. Preprint, 12th NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, Boulder, CO, NCAR, 44 – 47.
4. Лавриненко А.В., Комаров В.С., Попов Ю.Б. Методика сверхкраткосрочного прогноза параметров состояния атмосферы на основе алгоритма калмановской фильтрации и двумерной динамико-стохастической модели // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – Т. 18. – № 4. – С. 344 – 348.
5. Комаров В.С., Дубовик К.Ю. Пространственная интерполяция метеорологических полей с помощью малопараметрической динамико-стохастической модели с вертикальной компонентой. // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 12. – С. 075 – 1079.

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ДОМЕННОГО ЦЕХА ОАО «ММК»*

Лавров В.В.¹, Спириин Н.А.¹, Бурыкин А.А.¹, Рыболовлев В.Ю.²,
Краснобаев А.В.², Истомин А.С.¹, Гуриин И.А.¹

¹ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

²ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

Современная тенденция развития науки и техники характеризуется развитием, внедрением и широким использованием компьютерных систем поддержки принятия решений в АСУП, в основу которых положены методы математического моделирования [1 – 5]. Роль алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области металлургии MES–уровня (Manufacturing Execution Systems – системы управления технологией, производственными процессами) современных автоматизированных информационных систем крупнейших металлургических предприятий России в настоящее время становится все более очевидной [1, 2].

Это определяет потребность в разработке информационно-моделирующих систем, основу которых составляет комплекс математических моделей, учитывающих как физику процесса, основы теории тепло- и массообмена, законы сохранения энергии, так и особенности влияния технологических и стандартных характеристик сырья на показатели производственного процесса. Особое место в этом комплексе технологических операций получения металлопродукции отводится доменному переделу как самому энергоёмкому и сложному, на долю которого приходится до 50 % топлива, используемого в чёрной металлургии.

В докладе отражены результаты создания и внедрения автоматизированной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха на ОАО «ММК». Построение системы основано на следующих основных принципах:

– Система должна решать комплекс взаимосвязанных технологических задач. Инженерно-технологический персонал доменного цеха с помощью программного комплекса должен иметь возможность оперативно производить анализ работы металлургических агрегатов, оценивать текущее состояние хода технологического процесса, производить изучение и анализ наметившихся отклонений ключевых показателей, выявлять причины, повлёкшие эти отклонения и разрабатывать мероприятия по повышению эффективности металлургического производства.

– Обязательным требованием к системе является обеспечение простоты и лёгкости её использования, поскольку большинство пользователей являются не специалистами в области информационных технологий и моделирования доменного процесса.

– Непосредственную работу с системой осуществляют специалисты различных служб комбината, каждый из которых решает свои производственные задачи. В этой связи обязательным условием является наличие в системе модуля администрирования, разделения прав и категорий пользователей.

– Для выполнения заложенных функций система взаимодействует с другими информационными системами комбината (АСУ ТП, КИС). Поэтому реализованы возможность ав-

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.А03.21.0006.

томатического наполнения данными и передачи данных между подсистемами, а также средства её интеграции в корпоративную сеть предприятия.

– В процессе эксплуатации системы предполагается её непрерывное развитие (добавление новых показателей в отчёты, возможность их сопоставления, уточнение моделей и настройка их параметров на условия работы топливно-сырьевой базы комбината и пр.). Поэтому разработка системы выполнена на основе принципов модульного программирования с учётом современных технологий и средств программной реализации.

На основе вышеназванных принципов разработана структура системы, представленная на рисунке 1. Основными подсистемами являются:

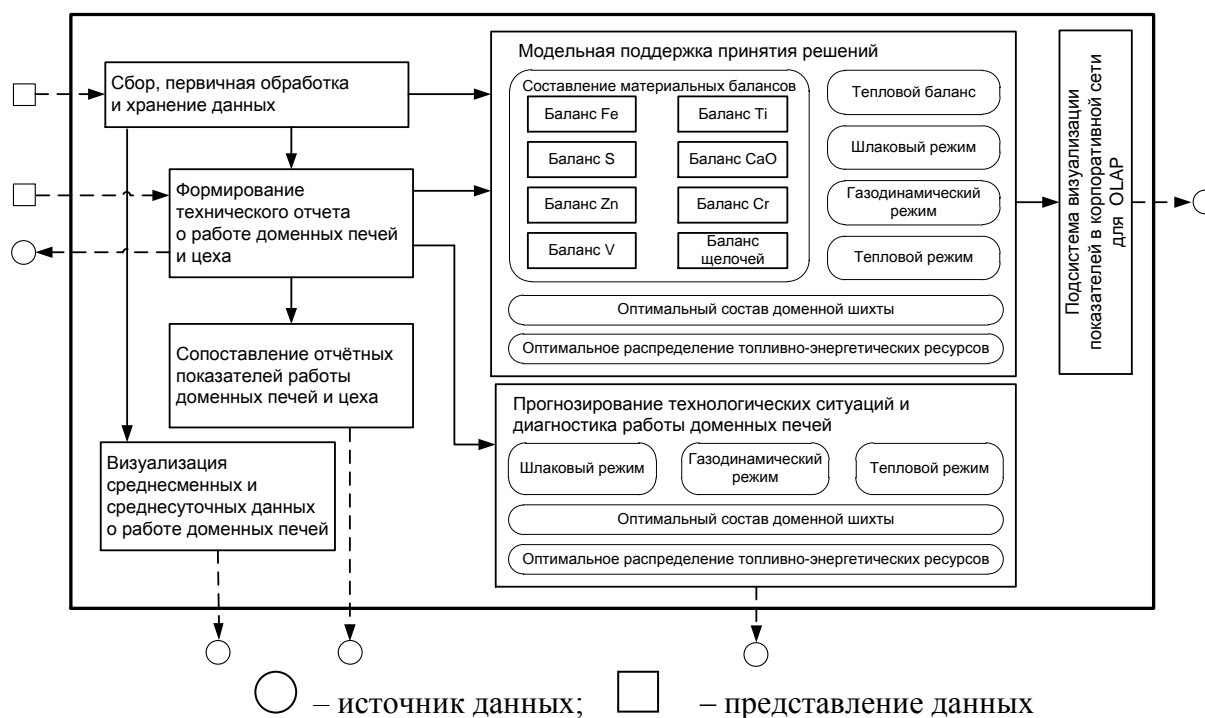


Рисунок 1 – Структура АИС анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха

– «Сбор и хранение данных», основной функцией которой является заполнение базы данных фактическими отчётными производственными показателями работы доменного производства;

– «Визуализация среднесменных и среднесуточных данных о работе доменных печей», которая обеспечивает построение графических трендов по выбранным пользователем параметрам в любой комбинации за указанный временной период;

– «Формирование технического отчёта о работе доменных печей и цеха», предназначенная для формирования технического отчёта о работе печей и цеха в целом за заданные периоды работы печей и цеха;

– «Сопоставление отчётных показателей работы доменных печей и цеха», которая обеспечивает возможность сравнения показателей работы цеха или печи по комплексу выбранных параметров за заданный временной период;

– «Модельная поддержка принятия решений, прогнозирование технологических ситуаций и диагностика работы доменных печей». В основу реализации подсистемы положены алгоритмы расчёта с использованием математических моделей доменного процесса для выбранного пользователем периода работы отдельных печей или цеха в целом [1, 2]. Анализ доменного процесса позволяет констатировать, что эта подсистема должна включать следующие взаимосвязанные подсистемы более низкого уровня декомпозиции: составление материальных балансов и теплового баланса доменной плавки; шлакового режима; газоди-

намического режима; теплового режима; оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов; оптимального выбора состава доменной шихты, а также диагностики хода доменной плавки. Каждая из этих подсистем взаимодействует с другими блоками параметров, подсистемами и внешней средой;

– «Визуализация показателей работы доменного производства для OLAP» обеспечивает уполномоченным пользователям доступ ко всей отчетной информации по доменному производству в корпоративной сети предприятия.

В ходе проектирования системы потребовалась детальная проработка функциональности отдельных подсистем. С этой целью разработана обобщенная функциональная модель, в основу которой положены идеи и нотации методики структурного анализа и проектирования IDEF0 [6]. Реализация выполнена в программе AllFusion Process Modeler (BPwin). Использование этой методики позволило создать функциональные блоки отдельных подсистем, выявить производимые ими действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции. Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели АИС АППС ДЦ составляет 152. Декомпозиция модели выполнена до третьего уровня включительно.

На основе анализа требований технологического персонала, нормативно-справочной информации доменного производства, функционального моделирования разработано математическое и алгоритмическое обеспечение, которое положено в основу программной реализации подсистемы отображения данных о работе отдельных доменных печей и цеха в целом. Структурный системный анализ и проектирование блоков математических моделей выполнены на основе процедурно-ориентированного подхода. Основой данного подхода является использование диаграмм потоков данных (DFD, Data Flow Diagrams) – информационной модели, основными компонентами которой являются потоки данных, переносящие информацию от одного модуля к другому [6]. Нотация метода DFD предполагает разбиение математической модели на отдельные функциональные компоненты (процессы) и представление их в виде сети, связанной потоками данных.

Программная реализация информационно-моделирующего комплекса «Автоматизированное рабочее место технолога доменного цеха» выполнена в среде Microsoft Visual Studio (язык программирования C#) [7]. На рисунке 2 продемонстрирована архитектура программного обеспечения комплекса, в которой выделены основные компоненты. Центральным звеном является структура хранения данных [8], которая формируется на сервере базы данных информационно-вычислительного центра доменного производства (ИБЦ ДЦ). Источниками ее наполнения являются аппаратно-программное обеспечение АСУ доменного цеха, корпоративной информационной системы (КИС) и центральной диспетчерской комбината (ЦДК). В зависимости от требований отдельных подсистем возможно реализовать различные периоды усреднения данных в базе с помощью механизмов СУБД.

Представленная на рисунке 2 архитектура обеспечивает заданную функциональность, выполнение требований предметной области, относительно простое расширение и изменение системы, возможность автономной реализации отдельных программных модулей и их независимость от структуры хранения данных. Перечень расчетных программных модулей:

– «Тепловой баланс доменной плавки» производит автоматический расчет и отображение приходных и расходных статей теплового баланса доменной плавки на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период»;

– «Материальные балансы железа, серы, цинка, титана, CaO, хрома доменных печей» осуществляет автоматический расчет и отображение материальных балансов железа, серы, цинка, титана, CaO, хрома доменных печей на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;

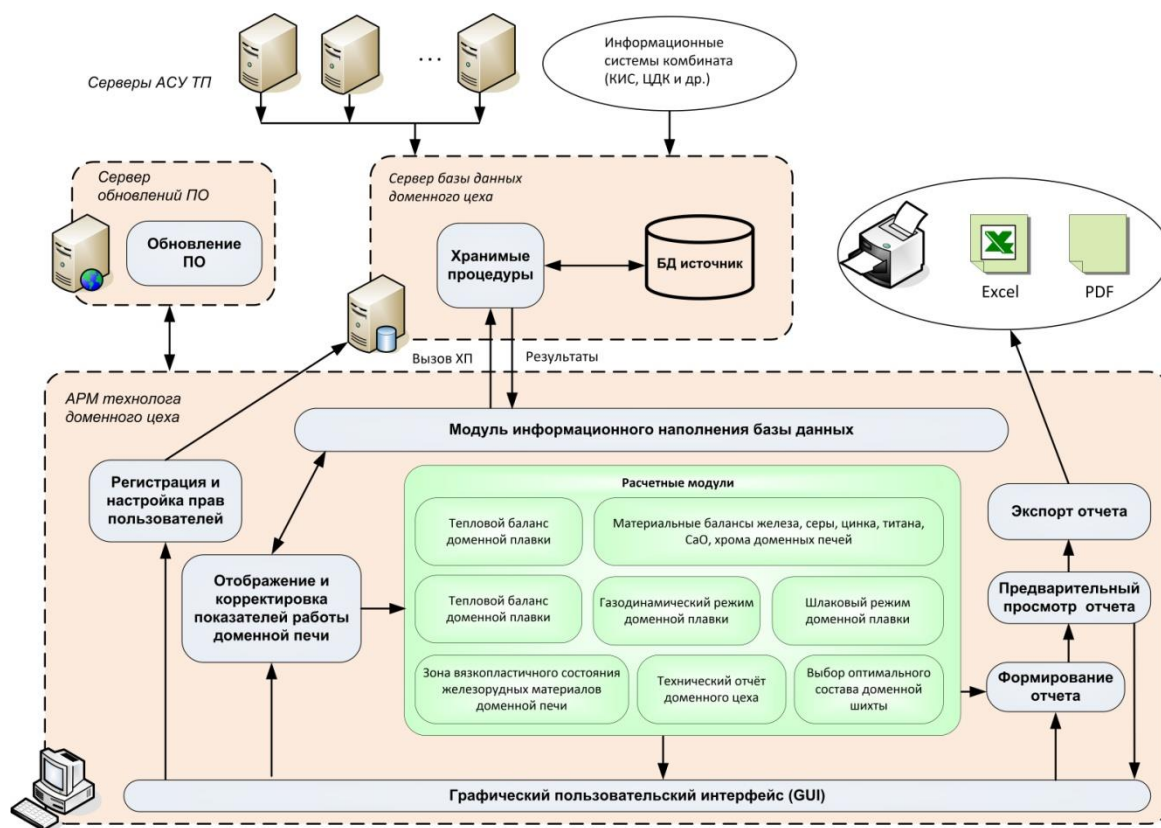


Рисунок 2 – Архитектура программного комплекса «Автоматизированное рабочее место технолога доменного цеха»

– «Газодинамический режим доменной плавки» производит автоматический расчет и отображение показателей газодинамического режима доменной плавки на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;

– «Шлаковый режим доменной плавки» выполняет автоматический расчет и отображение показателей шлакового режима доменной плавки на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;

– «Выбор оптимального состава доменной шихты» позволяет решать технологические задачи выбора оптимального состава доменной шихты на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;

– «Зона вязкопластичного состояния железорудных материалов доменной печи» осуществляет автоматический расчет и отображение показателей, характеризующих форму и положение зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов доменной печи на основе среднемесячных отчетных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период;

– «Технический отчет доменного цеха» производит отображение показателей технического отчета доменного цеха за календарный месяц, а также с начала года до указанного пользователем месяца.

Программное обеспечение предназначено для инженерно-технологического персонала, входит в состав автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Интегрированный программный комплекс выполнен в виде отдельного клиентского приложения, установленного на компьютер пользователя путем инсталляции загрузочного файла. Исходными данными для работы являются среднемесячные отчетные данные о работе доменного цеха. При этом программа осуществляет автоматическое извлечение среднемесячных отчетных показателей о работе доменных печей и цеха за указанный пользователем период

работы и расчет комплекса параметров, характеризующих технологические режимы доменной плавки. В качестве источника отчетных данных выступает централизованная база данных АСУ доменного цеха. Комплекс имеет широкий выбор интерактивных настроек для удобства восприятия и минимизации рутинных действий пользователя. Результаты модельных отчетов представляются в табличной и графической пользовательских формах, предусмотрено формирование отчета с возможностью его предварительного просмотра и экспорта в другие форматы.

После регистрации пользователя в программе и загрузки главной формы на экране будут отражены отчетные данные для базового (фактического отчетного за календарный месяц) периода работы доменной печи, которые автоматически считываются из базы данных центра АСУ «ММК» за календарный месяц. Отображение данных на главной форме возможно для двух периодов: базового и сравнительного. Сравнительный период служит для сопоставления фактических отчетных показателей работы доменной печи с аналогичными показателями в базовом периоде за календарный месяц.

Для удобства быстрого восприятия технологической ситуации и тенденций изменения отчетных показателей работы доменной печи в базовом и сравнительном периодах пользователю предоставлена возможность отображения данных по отдельным категориям: «Режимные параметры»; «Конструктивные размеры печи»; «Характеристика кокса»; «Параметры и расход шихты»; «Дутьевые параметры»; «Колошниковый газ»; «Жидкие продукты плавки: чугун»; «Жидкие продукты плавки: шлак»; «Тепловой баланс»; «Баланс Fe»; «Баланс S»; «Баланс Zn»; «Баланс Ti»; «Баланс CaO»; «Баланс Cr»; «Первичный шлак»; «Конечный шлак»; «Газодинамика». После загрузки сравнительного периода пользователь с помощью кнопки «Сопоставить» может увидеть отклонения всех величин в сравнительном периоде от соответствующих показателей базового периода (рисунок 3).

| Наименование показателя, ед.изм. | Величина (базовый) | Величина (сравнит.) | Отклонение (база-сравнит.) |
|---|--------------------|---------------------|----------------------------|
| Степень уравнивания шихты, % | 47,06 | 50,64 | -3,58 |
| Скорость движения газа в верхней части горна печи действительная, м/с | 5,72 | 5,99 | -0,27 |
| Скорость движения газа в области распара действительная, м/с | 4,76 | 5,09 | -0,33 |
| Скорость движения газа через колошник действительная, м/с | 3,52 | 3,78 | -0,26 |
| Расход дутья, м3/мин. | 2383 | 2667 | -283 |
| Расчетное значение расхода дутья, м3/мин. | 0 | 0 | 0 |
| Расчетный удельный расход дутья | 0 | 0 | 0 |
| Критический расход дутья, м3/мин | 2765 | 2982 | -217 |
| Температура горячего дутья, град.С | 1177 | 1180 | -3 |
| Влажность дутья, г/м3 | 2,2 | 0,1 | 2,1 |
| Содержание кислорода в дутье, % | 27,09 | 27,45 | -0,36 |
| Удельный расход природного газа, м3/т чугуна | 95,5 | 98,8 | -3,3 |
| Теоретическая температура горения, °С | 2196 | 2196 | 0 |
| Избыточное давление горячего дутья, ати | 2,42 | 2,41 | 0,01 |

Рисунок 3 – Отображение сопоставления показателей базового и сравнительного периодов на форме АРМ «Технолог доменного цеха»

АРМ «Технолог доменного цеха» помимо предоставления данных для текущего анализа отчетных показателей и оценки производственных ситуаций позволяет решать также ряд технологических задач по управлению тепловым, газодинамическим и шлаковым режимами доменной плавки, а также расчет оптимального состава доменной шихты.

В результате с использованием современной технологии разработки и программных

инструментальных средств [6 – 8] создана и внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «ММК», которая предоставляет в распоряжение инженерно-технологического персонала современный инструмент оперативного анализа отчётных показателей работы [9, 10]. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологического персоналу оперативно проводить анализ производственных ситуаций доменного цеха, решать задачи управления технологией доменной плавки, что в конечном итоге обеспечивает повышение технико-экономических показателей работы доменного производства.

Библиографический список

1. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
2. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П.Онорин, Н.А.Спириин, В.Л. Терентьев [и др.]; под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
3. Feng Q., Wang L. Blast furnace hoist charging control system based on ActiveX technology // WIT Transactions on Information and Communication Technologies; Wuhan; China; 7 May 2013 through 8 May 2013. Vol. 46 V.2, 2014. P. 1853–1858.
4. Dimitrov B.H., Nenov H.B., Marinov A.S. Comparative analysis between methodologies and their software realizations applied to modeling and simulation of industrial thermal processes // 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2013; Opatija; Croatia; 20 May 2013 through 24 May 2013. Article number 6596383. P. 891–895.
5. New process-control computer-system for the blast-furnace plant of an integrated iron and steel works / Bartels R., Dohl Kw., Uhde H., Schroder A., Stumpe W. // Stahl Und Eisen. 1994. Vol. 114. Issue 6. P. 75–79.
6. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
7. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. 6-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1311 с.
8. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1328 с.
9. Complex of model systems for supporting decisions made in managing blast-furnace smelting technology / Spirin N. A., Lavrov V. V., Burykin A. A., Rybolovlev V. Yu., Krasnobaev A. V., Kosachenko I. E. Metallurgist, 2011, Vol. 54, No. 9–10. P. 566–569.
10. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ХОЛОДНОКАТАНОГО ПРОКАТА

Миков А.Ю., Логунова О.С.

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Лист стальной холоднокатаный применяется при производстве легких металлоконструкций, элементов и систем вентиляции, аспирации, противопожарной вентиляции. Кроме того, он используется для изготовления бытовой и медицинской мебели, при производстве торгового оборудования. Стальной листовой прокат применяется в автомобильной промышленности для изготовления элементов и деталей корпусов. В производстве электро-

технического оборудования используется для изготовления коробов, распределительных шкафов и пр. Из холоднокатаного листа производят перфорированные, волнистые металлические, стеновые и кровельные покрытия. Металлопрофиль идет на изготовление листов для судостроения. Такие листы также незаменимы в крупных промышленных объектах – атомных станциях, плотинах, дамбах. Высокая прочность металла защищает от самых различных неблагоприятных внешних факторов [4].

Лист стальной холоднокатаный изготавливается в соответствии с ГОСТ 19904-90 методом прокатки горячекатаной заготовки. Объемы производств горячекатаной полосы и общий объем производства стали в России представлены на рисунках 1, 2 (по данным [5]).

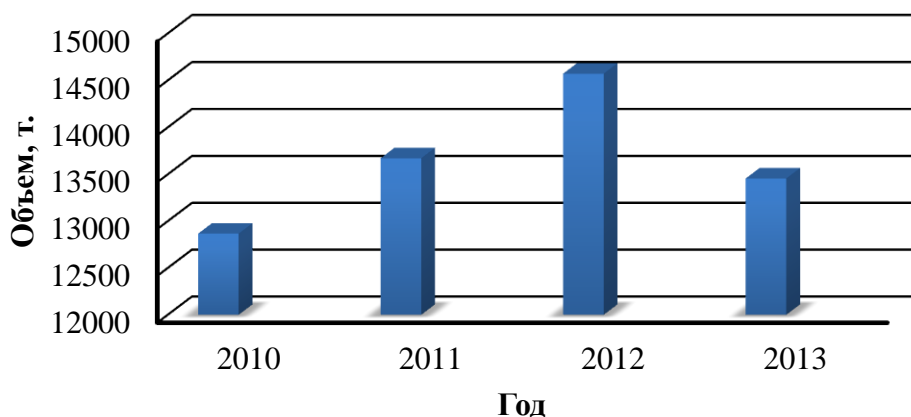


Рисунок 1 – Объем производства горячекатаной полосы в России, тонн в год

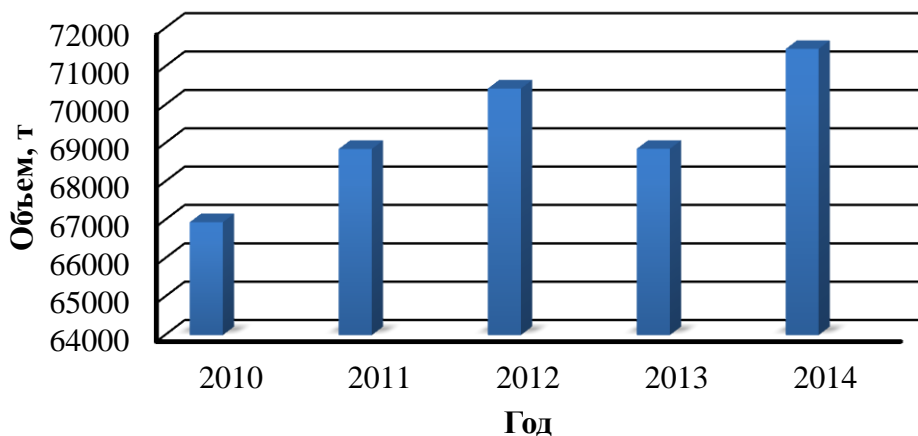


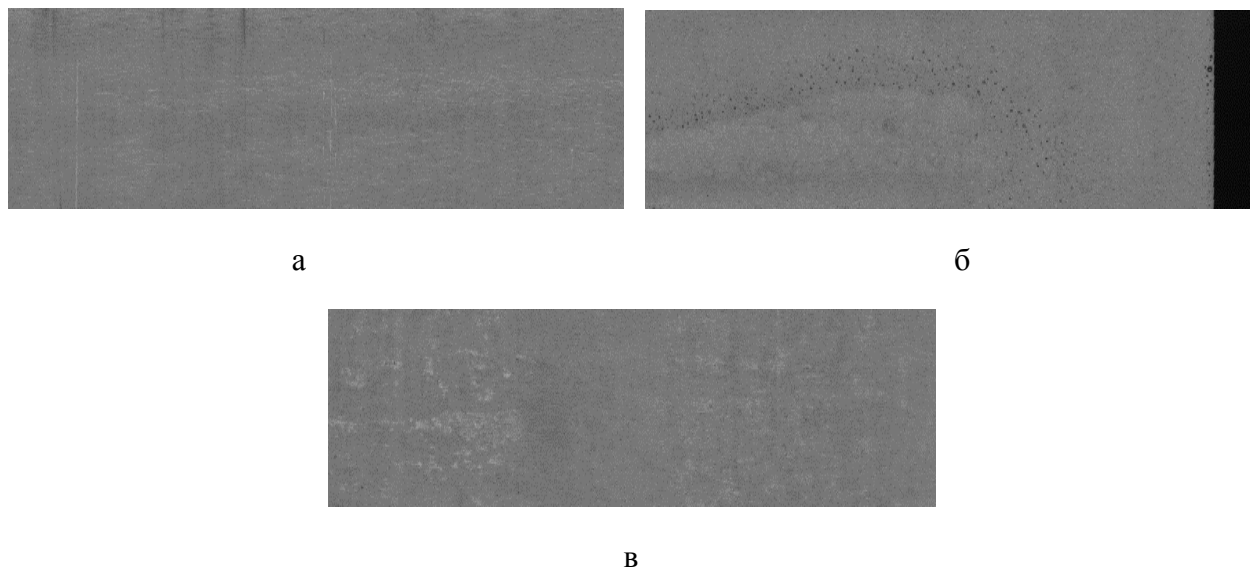
Рисунок 2 – Общий объем производства стали в России, тонн в год

Как отмечается в [1] обнаружение дефектов на поверхности холоднокатаного листа является важной составляющей при производстве автомобильного листа высокого качества. Увеличение надежности обнаружения дефектов достигается за счет снижения ошибочно классифицированных и пропущенных дефектов, которые приводят не только к не кондиции, но и снижают коррозионную стойкость, абразивную устойчивость, усталостную прочность металлического листа.

В технологическую цепочку в ЛПЦ-11 ОАО «ММК» внедрена система автоматической инспекции поверхности полосы Espresso SI фирмы Parsytec. В которой для обнаружения дефектов используются: сенсоры с диффузной и фокусируемой подсветкой, линейные и матричные камеры, установленные снизу и сверху полосы. Снимки дефектов (или «подозрений» на дефекты) сохраняются в базе данных, что позволяет провести дополнительную

обработку изображений и использовать их для дальнейшего развития систем распознавания. К типичным дефектам, которые может обнаружить система Espresso SI относятся: «дыра», «царапина», «складка», «окалина» и пр. Но в настоящий момент не обеспечивается достаточный уровень обнаружения некоторых дефектов и присутствуют так называемые «псевдодефекты» [1].

Изображения поверхности листа холоднокатаного проката, получаемые с видеокамеры (рисунок 3), имеют разрешение 101 ppi (пикселей на дюйм) и являются монохромными – в оттенках серого, соотношение сторон 1:6. Дефекты на поверхности листа на изображении случайно расположенные и являются объектами нерегулярной формы, различных размеров, ориентации и яркости.



а – с дефектом «царапина»; б – с дефектом «пятна загрязнения»;
в – с дефектом «пятна промасливания»

Рисунок 3 – Изображения фрагментов листового проката

Целью работы является повышение достоверности информации при распознавании дефектов на изображениях поверхности холоднокатаного проката. Для решения задачи распознавания образов можно выделить следующие основные этапы:

- генерация признаков, характеризующих объект на изображении;
- селекция признаков, обладающих наилучшими классификационными свойствами в рамках поставленной задачи;
- разработка гибридного нейронечеткого классификатора для объектов в структуре изображения;
- обучение разработанной искусственной нейронной сети для классификации признаков;
- оценка обученного нейронечеткого классификатора (проверка адекватности).

Математические методы позволяют описать текстуру изображения. В [3] Хараликом предложены текстурные признаки изображения, основанные на его статистических свойствах. Текстурные признаки позволяют агрегировать контекстную информацию с определенными свойствами инвариантности под конкретную задачу распознавания образов.

В рамках задачи распознавания дефектов выбраны текстурные признаки Харалика, основанные на статистиках первого и второго порядков, извлеченных из матрицы пространственной смежности. Матрица пространственной смежности $A[i, j]$ представляет для заданного относительного расстояния между пикселями d и ориентации φ общее число пар пикселей, расположенных на смещении d под углом φ и обладающих яркостями i и j . Матрица $A[i, j]$ нормирована делением каждого элемента на общее число пар пикселей. По своей сути каж-

дый элемент матрицы A представляет собой вероятность p того, что пиксель со значением яркости i будет найден рядом (на расстоянии d под углом φ) с пикселем яркости j :

$$A = \begin{pmatrix} p(0,0) & p(0,1) & \dots & p(0,N_g-1) \\ p(1,0) & p(1,1) & \dots & p(1,N_g-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p(N_g-1,0) & p(N_g-1,1) & \dots & p(N_g-1,N_g-1) \end{pmatrix},$$

где N_g – размер диапазона яркости (для изображения в оттенках серого при 8-битной глубине цвета $N_g = 256$). С использованием яркостной матрицы смежности вычисляются текстурные признаки [3]:

– угловой момент второго порядка (мера гладкости изображения):

$$f_1 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p^2(i,j);$$

– контраст Харалика (мера локальной дисперсии серого):

$$f_2 = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i,j) \right\};$$

– корреляция Харалика:

$$f_3 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (ij)p(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y},$$

где μ_x , μ_y , σ_x , σ_y – среднее и стандартное отклонение p_x , p_y , частной плотности вероятности;

– дисперсия Харалика:

$$f_4 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - \mu)^2 p(i,j);$$

– обратный разностный момент (имеет большое значение для низкоконтрастных изображений):

$$f_5 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{1}{1+(i-\mu)^2} p(i,j);$$

– суммарное среднее:

$$f_6 = \sum_{i=2}^{2N_g} i p_{x+y}(i),$$

где x и y – координаты (строки и столбцы) матрицы пространственной смежности, $p_{x+y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i,j) i + j = k, k = 2, 3, \dots, 2N_g$;

– суммарная дисперсия:

$$f_7 = \sum_{i=2}^{2N_g} (i - f_6)^2 p_{x+y}(i);$$

– суммарная энтропия:

$$f_8 = - \sum_{i=2}^{2N_g} p_{x+y}(i) \log(p_{x+y}(i));$$

– энтропия (мера равномерности):

$$f_9 = - \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i,j) \log(p(i,j));$$

– разностная дисперсия:

$$f_{10} = \sum_{i=0}^{N_g-1} i^2 p_{x-y}(i),$$

где $p_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) |i - j| = k, k = 0, 1, \dots, N_g - 1$;

– разностная энтропия:

$$f_{11} = -\sum_{i=0}^{N_g-1} i^2 p_{x-y}(i) \log(p_{x-y}(i));$$

– первая информационная мера корреляции:

$$f_{12} = \frac{f_9 - HXY_1}{\max\{HX, HY\}},$$

где $HXY_1 = -\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \log(p_x(i)p_y(j))$, HX и HY – энтропия $p_x(i) = \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j)$ и $p_y(j) = \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j)$;

– вторая информационная мера корреляции:

$$f_{13} = \sqrt{1 - \exp(-2HXY_2 - f_9)},$$

где $HXY_2 = -\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p_x(i)p_y(j) \log(p_x(i)p_y(j))$;

– максимальный коэффициент корреляции:

$$f_{14} = \sqrt{\{\text{второе по величине собственное значение } Q\}},$$

где $Q(i, j) = \sum_k \frac{p(i, k)p(j, k)}{p_x(i)p_y(k)}$.

Для каждого расстояния и направления отсчета функции яркости могут быть рассчитаны все 14 признаков Харалика. В связи с чем возникает задача селекции признаков, которые войдут в пространство признаков и будут использованы в дальнейшем на этапе классификации.

Для селекции признаков предлагается использовать методiku, предложенную в [6]. Порядок селекции информативных признаков приведен на рисунке 4.

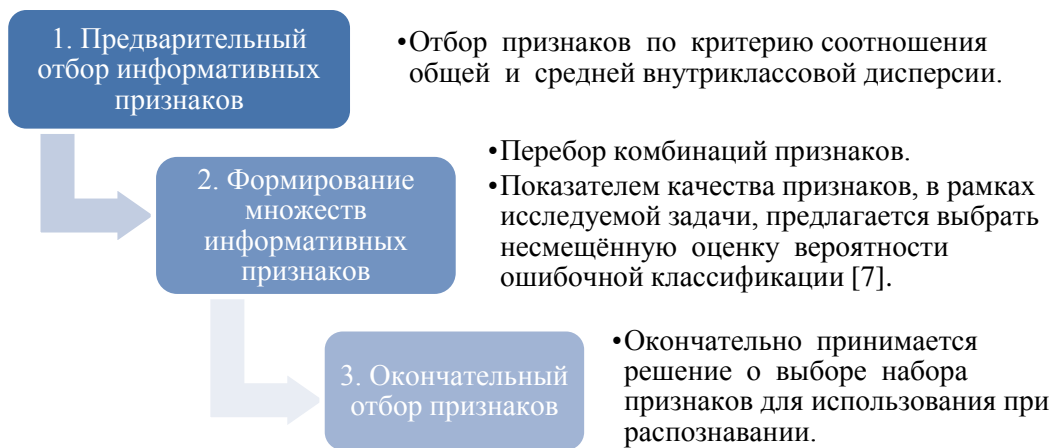


Рисунок 4 – Этапы селекции признаков для задачи распознавания

В настоящий момент на стадии разработки находится программный продукт, который позволит автоматизировать расчет характеристик для группы изображений с заданными параметрами: расстояния и направления отсчета функции яркости. На основе полученных данных из множества признаков будет осуществлен отбор наиболее информативных, что позволит в дальнейшем сократить вычислительную сложность на этапе классификации.

Для распознавания дефектов на изображении в построенном пространстве признаков предлагается использовать гибридный нейронечеткий классификатор [2], который допускает непрерывность границ между соседними классами с наложением областей, в каждой из которых классифицируемый объект характеризуется своей степенью принадлежности.

Библиографический список

1. Миков, А.Ю. Обоснование необходимости повышения точности обнаружения дефектов на поверхности холоднокатаного листа для машиностроения / А.Ю. Миков, О.С. Логунова, А.В. Маркевич // Электротехника. Энергетика. Машиностроение: сб. науч. тр. I Международ. науч. конф. молодых ученых. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2014. – С. 109-111.
2. Миков, А.Ю. Обоснование применения нечеткой нейронной сети для распознавания поверхностных дефектов стального листа / А.Ю. Миков, О.С. Логунова // Информатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – 106 с., російською мовою
3. Haralick, R.M. Textural features for image classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, Dinstein // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1973. – November, Vol. SMC-3. – P. 610-621.
4. Сайт компании «Аэросталь» [Электронный ресурс]. – СПб, 2015. – Режим доступа : <http://www.steelaero.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Сайт компании Worldsteel association [Электронный ресурс]. – Brussels, 2015. – Режим доступа : <http://www.worldsteel.org>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Глумов, Н.И. Метод отбора информативных признаков на цифровых изображениях / Н.И. Глумов, Е.В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 3. – С. 73-76.
7. Фукунага, К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / К. Фукунага; пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
8. Миков, А.Ю. Результаты предпроектного обследования для распознавания и классификации поверхностных дефектов холоднокатаного проката на основе нечетких нейронных сетей / Миков А.Ю. // *Ab ovo ... (С самого начала ...)*. – 2014. – № 1. – С. 94-100.
9. Миков, А.Ю. Технология обработки изображений на основе нейронной сети / А.Ю. Миков, И.И. Мацко, О.С. Логунова // Автоматизированные технологии и производства. – 2012. – № 4. – С. 57-62.
10. Логунова, О.С. Автоматизированная оценка качества непрерывнолитой заготовки / О.С. Логунова, Б.Н. Парсункин, В.Г. Суспицын. – Сталь. – 2004. – № 12. – С. 101-104.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ*

Онорин О.П., Спирин Н.А., Лавров В.В., Истомин А.С., Гурин И.А.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»,
г. Екатеринбург, Россия*

Исследование переходных процессов доменной плавки осуществляется использованием аналитических, теоретических моделей, описывающих закономерности тепло- и массообмена с учетом кинетики протекающих в объеме печи химических реакций; методами пассивного и активного экспериментов, но данным эксплуатации печи с применением статистических методов, а так же на основе результатов специально поставленных экспериментов или путем отбора характерных периодов нормальной работы печи, содержащие входные сигналы желаемого типа. Каждое из этих направлений имеет очевидные преимущества и недостатки, широко освоенные в научной литературе [1–5].

Аналитические модели, построенные на основе физики процессов, позволяют теоретически оценивать характер динамических характеристик процессов в любых условиях до-

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановление № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.А03.21.0006.

менной плавки при отсутствии помех [3–5]. Однако ввиду сложности процессов доменной плавки, проблематичности полного описания процессов, сложности математического решения системы дифференциальных разработанные динамические модели не учитывают в полной мере все особенности протекания процессов, а информация по реально используемым в промышленности динамическим моделям этого класса за последние 10-летия практически отсутствует.

Перспективным для решения рассматриваемых задач по нашему мнению является натурно-модельный подход, разработанный в Сибирском государственном индустриальном университете [6]. Однако основой динамических моделей остаются фундаментальные, физические представления о процессах доменной плавки [7–8]. Расчеты выполняются параллельно для двух вариантов – в базовом и прогнозном вариантах.

Динамика изменения газодинамического сопротивления слоя шихты при изменении доли окатышей

Поскольку температурный интервал плавления окатышей больше, чем у офлюсованного агломерата, то увеличение доли железорудных окатышей в шихте доменных печей будет сопровождаться возрастанием газодинамического сопротивления зоны когезии.

График переходного процесса при загрузке шихты с увеличенной долей железорудных окатышей в шихте доменной печи № 10 ММК в прогнозном периоде показана на рисунке 1.

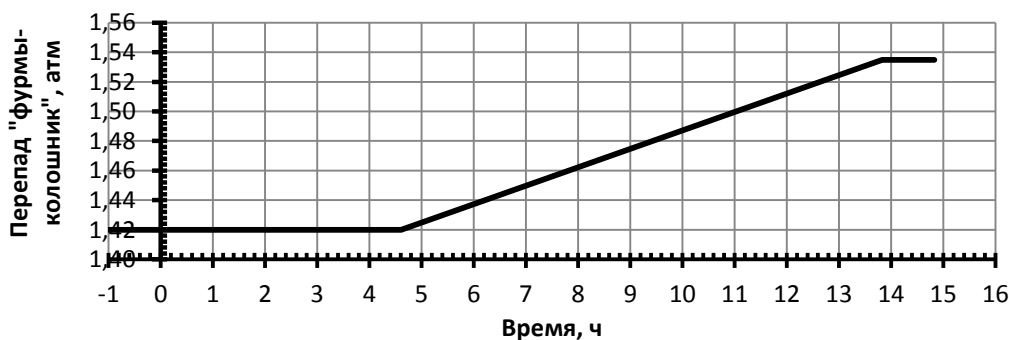


Рисунок 1 – Динамика изменения общего перепада давления газа по высоте слоя шихты при увеличении доли окатышей в железорудной части шихты с 0,342 т/т до 0,541 т/т

Начало (по времени) изменения перепада давления газа будет наблюдаться при подходе к зоне шлакообразования измененной шихты, т.е. примерно через один оборот шихты будет происходить в течение переходного периода, равного (по времени) смене 2х оборотов шихты.

Влияние содержания мелочи в агломерате на газодинамическое сопротивление слоя шихты в печи

График переходного процесса при загрузке в печь шихты с повышенным содержанием мелочи (фр. 0–5 мм) в агломерате показана на рисунке 2.

Ввод в шихту агломерата с повышенным содержанием мелочи будет сопровождаться возрастанием общего перепада давления газа по высоте слоя. Возрастание верхнего перепада давления газа, а вместе с этим и рост общего перепада, будет наблюдаться сразу после загрузки в печь шихты с увеличенной долей мелочи в агломерате и будет продолжаться вплоть до прихода этой шихты в зону шлакообразования, т.е. через время проплавки одного объема печи.

Воздействие изменения рудной нагрузки на содержание кремния в чугуна

Начало изменения в производительности печи по времени соответствует смене одного объема шихты в печи; время переходного периода примерно равно этому же периоду. Изменение в нагреве продуктов плавки, характеризуемое содержанием кремния в чугуна, начинается через время переходного периода, длительность которого составляет один обо-

рот шихты в печи, а общая продолжительность переходного процесса до установления нового значения кремния составляет 3–3,2 оборота шихты (рисунок 3).

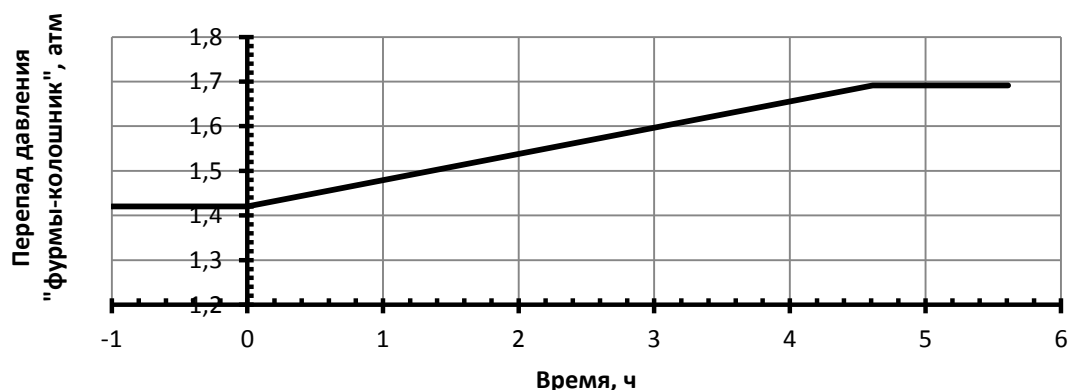


Рисунок 2 – Динамика изменения общего перепада давления газа по высоте слоя шихты в печи № 10 ММК при увеличении мелочи в агломерате (фр. 0–5 мм) с 6,1 до 10,8 %

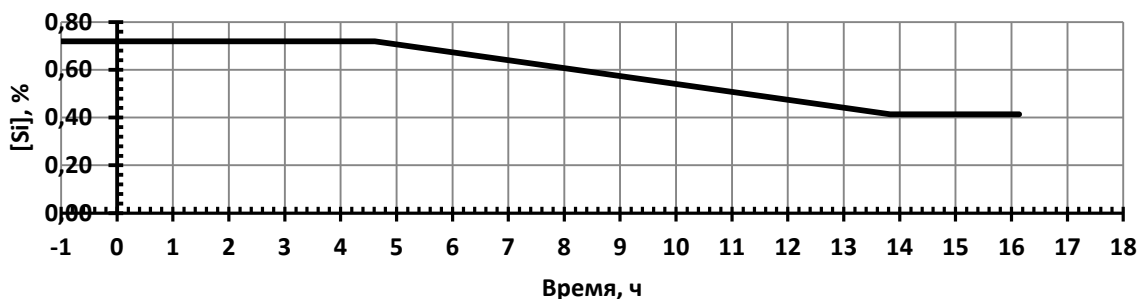


Рисунок 3 – Изменение содержания кремния в чугуна в процессе переходного периода при увеличении рудной нагрузки с 3,76 до 3,86 т/т

Коэффициент передачи по каналу «рудная нагрузка-содержание кремния в чугуна» составляет 0,37 % [Si]/0,1 рудной нагрузки. Установлено, что с повышением уровня возмущения, т.е. когда рудная нагрузка возрастает более, чем на 0,2 т/т, коэффициент передачи практически не меняется.

Динамика изменения содержания кремния в чугуна при изменении расхода природного газа

Изменение расхода природного газа (без корректировки других дутьевых параметров – изменение температуры дутья, содержание в дутье кислорода, влажности дутья) вызывает знакопеременный характер изменения содержания кремния в чугуна (рисунок 4).

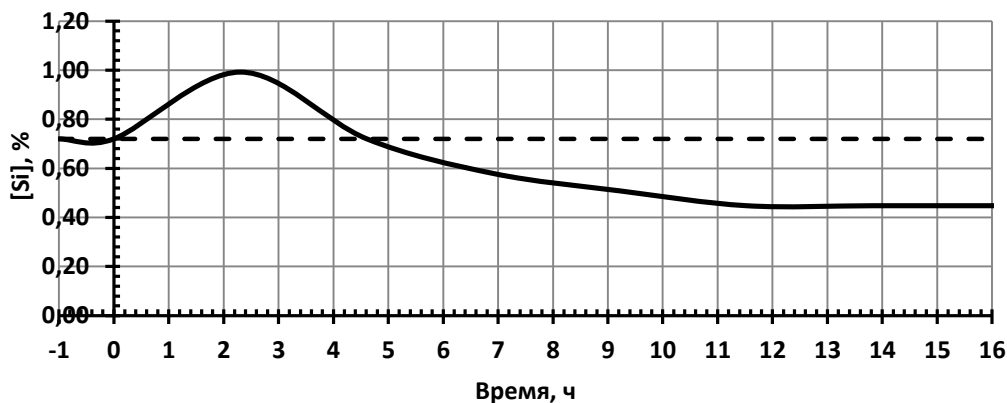


Рисунок 4 – Динамика изменения содержания кремния в чугуна при сокращении расхода природного газа на 10 м³/т чугуна

Это обусловлено безынерционным действием изменения теплового уровня в горне печи и инерционным воздействием интенсивности плавки и протеканием восстановительных процессов. В начальный момент времени снижения расхода газа в результате повышения температуры в горне, связанной со снижением затрат тепла на разложение природного газа содержание кремния в чугуна возрастает, но по истечении времени, равного времени одного оборота шихты в печи шихта начинает холодеть.

Динамика изменения содержания кремния в чугуна при изменении содержания кислорода в дутье

Кривая изменения содержания кремния в чугуна в этом случае имеет знакопеременный характер. В первоначальный момент времени после увеличения содержания кислорода в дутье из-за роста температуры в горне печи в течение прохождения одного оборота шихты происходит повышение концентрации кремния в чугуна (рисунок 5).

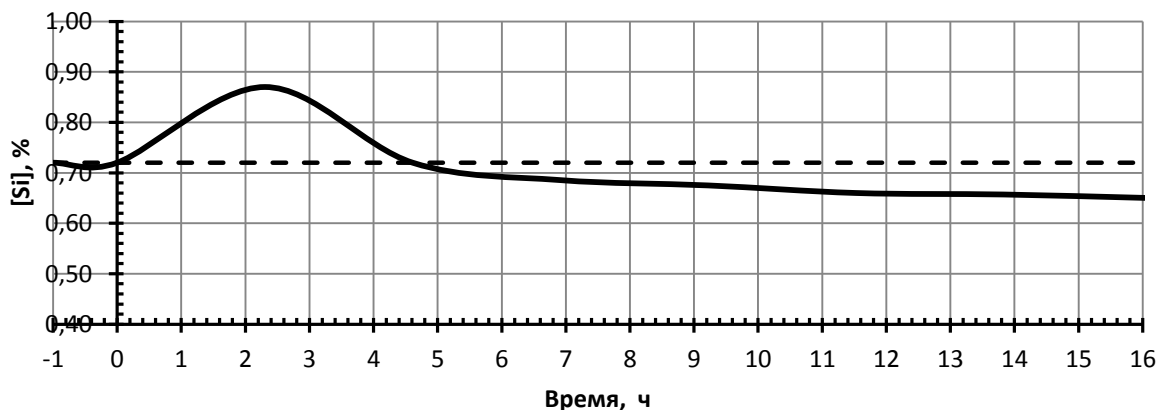


Рисунок 5 – Динамика изменения содержания кремния в чугуна при увеличении концентрации кислорода в дутье с 27,5 до 28,5 %

Однако в дальнейшем из-за снижения температуры в шахте печи и увеличения степени прямого восстановления оксидов железа наблюдается снижение нагрева нижней зоны печи и понижение содержания кремния.

Динамика изменения параметров доменной плавки при изменении влажности дутья

Динамика изменения содержания кремния в чугуна при снижении влажности дутья представлена на рисунке 6.

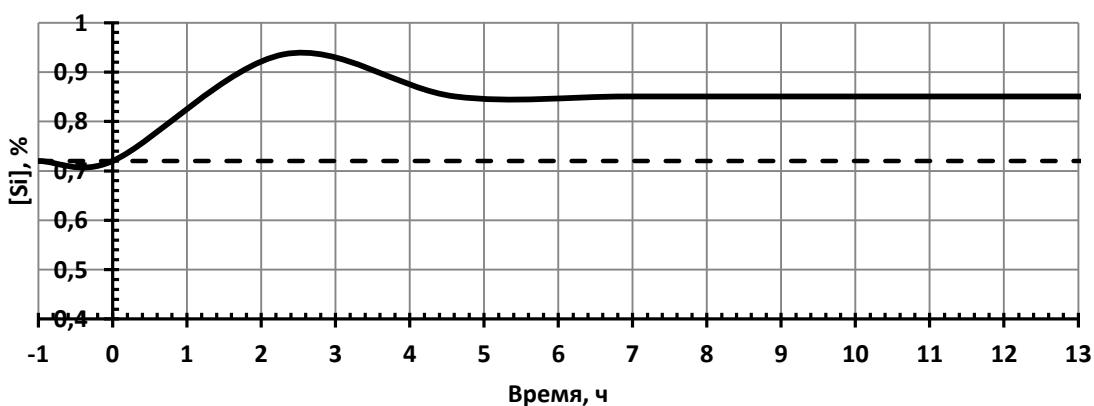


Рисунок 6 – Динамика изменения содержания кремния в чугуна при снижении влажности дутья с 9,0 до 4,0 г/м³

При снижении влажности дутья происходит повышение теоретической температуры горения за счет понижения затрат тепла на разложение паров воды и снижения объема горючих газов, а также повышение физического и химического нагрева продуктов плавки. Че-

рез 2,5 часа после нанесения возмущения повышение теплового уровня горна печи прекращается и начинается небольшой разогрев низа печи.

Динамика изменения кремния в чугуне при изменении основности шлака

При увеличении основности шлака (CaO/SiO_2) наблюдается снижение концентрации кремния в чугуне. Это связано с тем, что ввод в шлак основного оксида – CaO сопровождается связыванием оксида кремния в шлаке в прочное соединение – силикат кальция ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), восстановление кремния из которого требует гораздо больших затрат в сравнении с его восстановлением из «чистого» кремнезема. Результаты анализа по выявлению зависимости кремния в чугуне от основности шлака для условий ОАО «НТМК», представлены на рисунке 7.

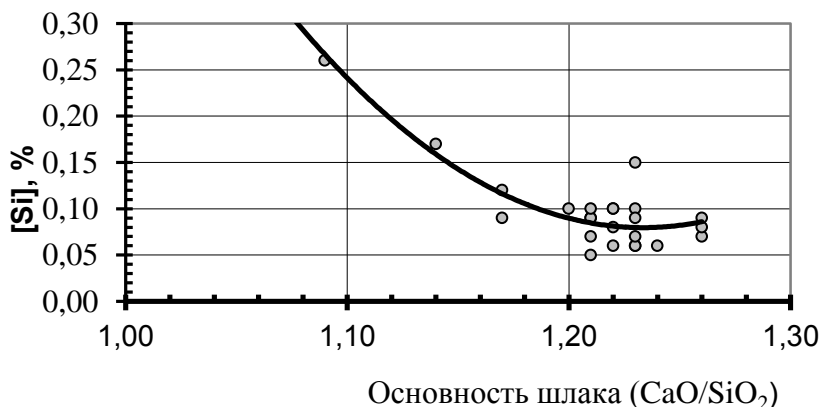


Рисунок 7 – Взаимосвязь содержания кремния в чугуне и основности шлака

При расчете динамики изменения кремния в чугуне при внесении возмущения по изменению основности шлака принимается, что начало изменения концентрации кремния в чугуне начинается через время смены одного оборота шихты в печи, а длительность переходного периода составляет по времени также смену одного оборота шихты. На рисунке 8 представлена динамика изменения содержания кремния в чугуне при увеличении основности шлака.

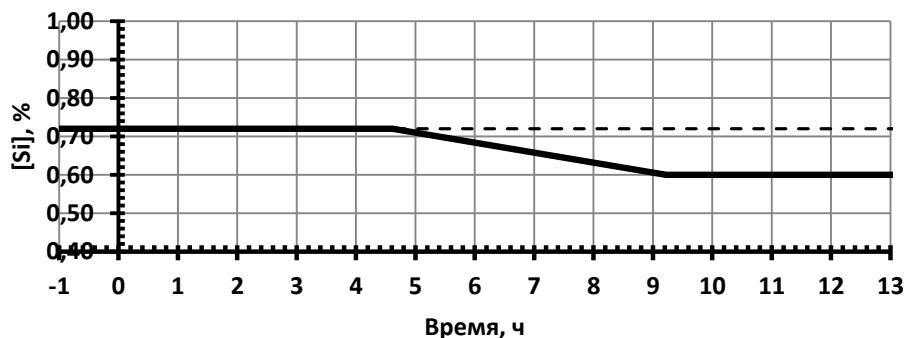


Рисунок 8 – Динамика изменения содержания кремния в чугуне при увеличении основности шлака с $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,98$ до $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,04$

Выводы:

1) Колебательный переходный процесс в доменной печи наблюдается в том случае, если после нанесения возмущения оно будет оказывать противоположное влияние на тепловое состояние нижней и верхней ступеней теплообмена. Величина перерегулирования при этом будет тем больше, чем существеннее по величине и по знаку это различие.

2) Наиболее предсказуемыми параметрами, влияющими на концентрацию кремния в чугуне, являются изменение рудной нагрузки, влажности дутья, а также основности шлака.

3) Изменение концентрации кислорода в дутье и расхода природного газа нельзя использовать в качестве параметров для регулирования содержания кремния в чугуне. Это

связано со знакопеременным характером влияния этих параметров на тепловой режим плавки. Принятие необоснованных решений по установлению параметров расхода природного газа и концентрации кислорода в дутье для регулирования содержания кремния в чугуне может привести к результату противоположному ожидаемому.

Библиографический список

1. Тваровский И.Г. Доменная плавка. Монография – Днепропетровск, ПОРОГИ, 2009.– 768 с.
2. Китаев Б. И. Теплотехника доменного процесса / Б. И. Китаев, Ю. Г. Ярошенко, Е. Л. Суханов, Ю. Н. Овчинников, В. С. Швыдкий // М.: Metallurgia, 1978. 248 с.
3. Мойкин В.И. Динамические характеристики доменной печи по результатам математического моделирования / В.И.Мойкин, Н.М.Бабушкин, Б.А.Боковиков// Вопросы производства чугуна в доменных печах: Темат. сб.научн.тр./МЧМ СССР (ИЧМ).– М.: Metallurgia, 1984. С. 46–52.
4. Jian Xu. Numerical simulation on dynamic and static holdups of powder inside pre-reduction shaft furnace / Jian Xu, Sheng-li Wu, Xin-ying Guo, Kai-ping Du. Technical contribution to the 6th International congress on the science and technology of ironmaking – ICSTI, 42nd International Meeting on ironmaking and 13th International Symposium on Iron Ore, October 14th to 18th, 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Pp. 414– 424.
5. Овчинников Ю. Н. Нестационарные процессы и повышение эффективности доменной плавки / Ю. Н. Овчинников, В. И. Мойкин, Н. А. Спиринов, Б. А. Боковиков // Челябинск: Metallurgia, 1989. 120 с.
6. Емельянов С.В. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В.Емельянов, С.К.Коровин, Л.П.Мышляев, А.С.Рыков, В.Ф.Евтушенко, С.М.Кулаков, Н.Ф.Бондарь – Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2008. 487 с.
7. Спиринов Н.А. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
8. Спиринов Н.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП / Н.А.Спиринов, В.В.Лавров, В.Ю.Рыболовлев и др. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014. – 558 с.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ*

Грачев В.В., Шипунов М.В., Ивушкин К.А., Циряпкина А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»,
Объединенная компания «Сибшахтострой»
г. Новокузнецк*

Начиная с конца 90-х годов XX века, при создании углеобогажительных фабрик Кузбасса стали разрабатываться и реализовываться принципиально новые решения, позволяющие говорить о начале создания фабрик нового поколения [1 – 3]. Среди основных проектных и технологических решений можно выделить:

– применение новых методов обогащения углей, дающих низкую энергоемкость производства;

* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555.

- рациональное сочетание отечественного и импортного оборудования с его объединением в эффективную и высоконадежную структуру;
- гибкость технологической схемы, обеспечивающая возможность изменения структуры объекта, выбора и реализации рациональных схем и режимов процесса обогащения;
- экологичность и безопасность всего производства, достигаемые применением закрытых складов рядовых углей и концентратов, замкнутого цикла оборота воды, исключением традиционных процессов сушки концентрата;
- высокий уровень автоматизации агрегатов, технологических процессов и в целом всего производства с применением современных программно-технических средств.

Эффективность работы современных систем автоматизации обогатительных фабрик (СА ОФ) во многом зависит от того, насколько удобно и понятно представляется информация технологическому и управленческому персоналу. Поэтому этапу создания информационного обеспечения (ИО) СА ОФ всегда уделяется пристальное внимание. Существенное, в три-четыре раза, сокращение сроков создания углеобогатительных фабрик нового поколения и существенное повышение требований к их технико-экономическим показателям потребовали упреждающей разработки ИО, то есть ИО должно быть создано и внедрено еще до пуска фабрики в эксплуатацию, когда агрегаты технологической цепи находятся в состоянии монтажа и пуско-наладки. Эффективность упреждающей разработки и внедрения ИО была неоднократно доказана на практике, при создании систем управления крупными промышленными комплексами [4, 5].

Примером современной СА ОФ нового поколения может служить одна из последних созданных систем – СА ОФ «Калтанская-Энергетическая» (г. Калтан Кемеровской области), внедренная в начале 2015 года.

ИО СУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» разработано с помощью SCADA-системы Vijeo Citect корпорации Schneider Electric (Франция) [6]. На мониторе диспетчера ОФ средствами SCADA-системы представлена мнемосхема (рисунок 1), состоящей из верхней, основной и нижней областей. Верхняя область (фрагмент 1 рисунка 1) содержит панель инструментов для навигации, меню вызова дополнительных видеокладов и всплывающих окон, а также элементы авторизации пользователей и диагностики связи с контроллерами. В нижней области (фрагмент 3 рисунка 1) расположена панель тревог для отображения в реальном масштабе времени всех тревог и событий, сконфигурированных в системе.

В основную область (фрагмент 2 рисунка 1) первоначально (при загрузке системы) помещается основной видеоклад, отображающий технологическое оборудование, схему материальных потоков главного корпуса, а также кнопки «Управление» и «Показатели». При необходимости в основную область могут быть помещены следующие дополнительные видеоклады:

- «Углеприем, Порода, Магнетит», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов углеприема и углеподготовки, бункера породы, склада магнетита (рисунок 2);
- «Склад товарной продукции», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов открытого и закрытого складов концентрата (рисунок 3);
- «ППНС и очистные сооружения», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов противопожарной насосной станции и очистных сооружений;
- «Тренды» для отображения в виде графиков изменение наиболее важных технологических переменных и данных сигналов тревог (рисунок 4);
- «Журнал событий» для работы с текущими и архивными событиями и тревогами, зафиксированными в системе.

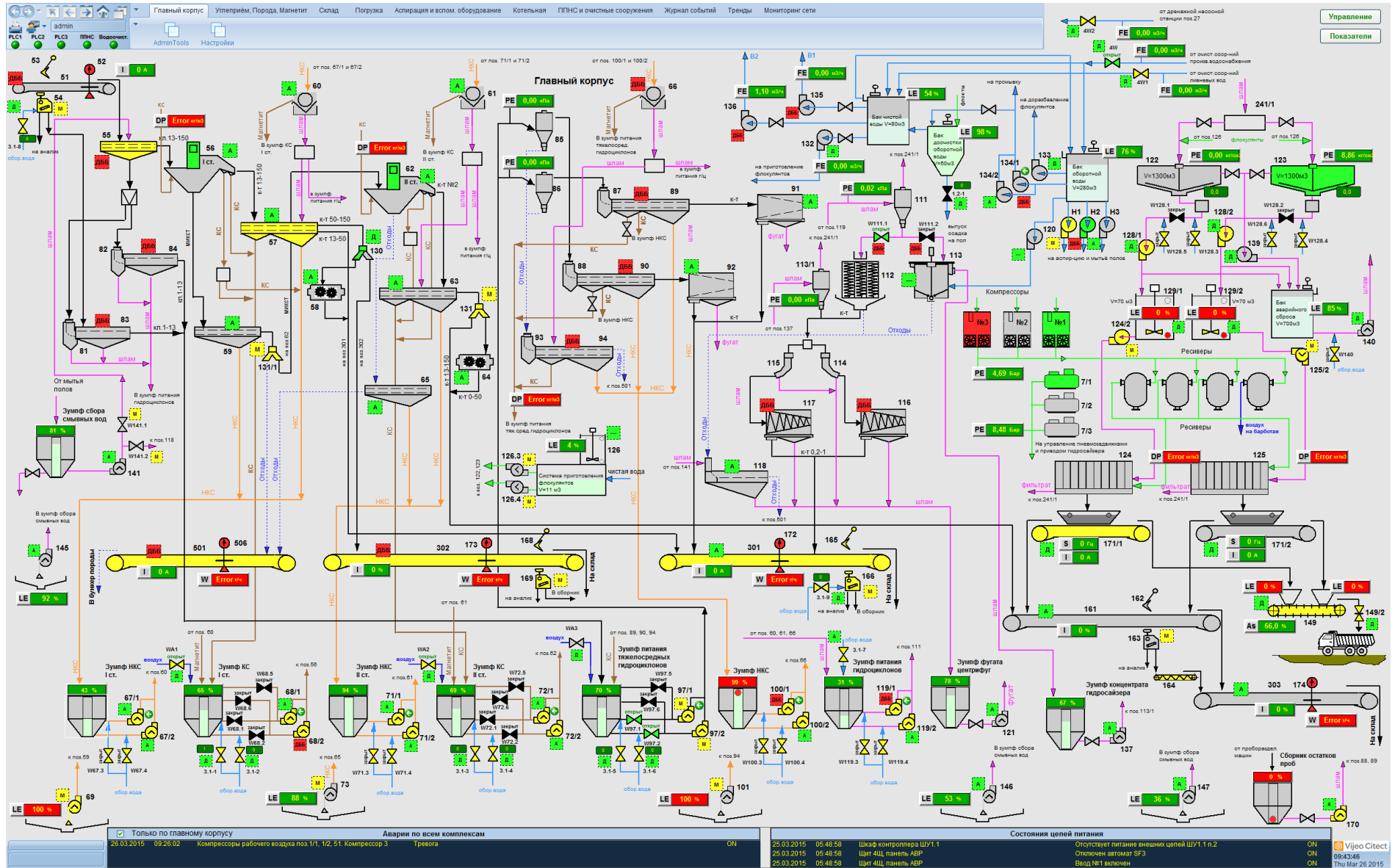


Рисунок 1 – Мнемосхема монитора диспетчера ОФ «Калтанская-Энергетическая»

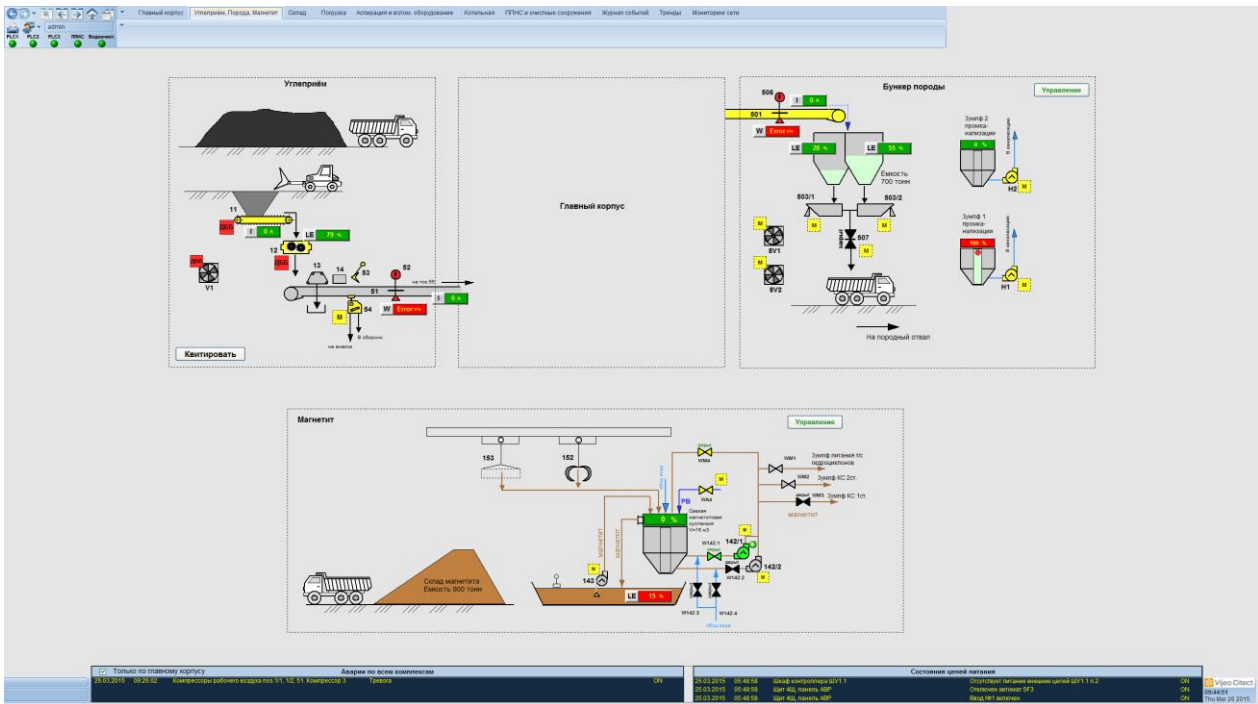


Рисунок 2 – Дополнительный видеокادر «Углерейм, Порода, Магнетит»

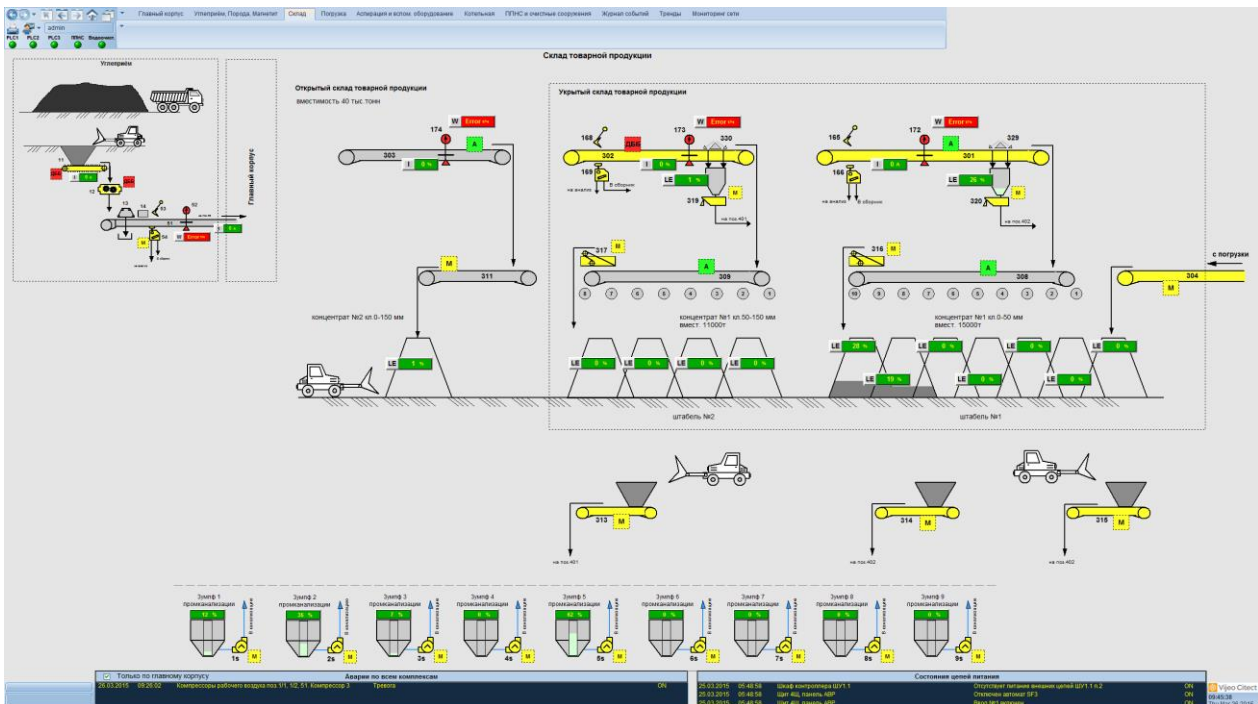


Рисунок 3 – Дополнительный видеокادر «Склад товарной продукции»

Обобщенное отображение информации о текущем состоянии любого агрегата комплекса осуществляется в соответствии с признаками, формируемыми в системе управления технологическим комплексом по результатам контроля, во-первых, посредством цветовой индикации мнемонического изображения этого агрегата, во-вторых, текстом в поле информационного табло всплывающего окна.

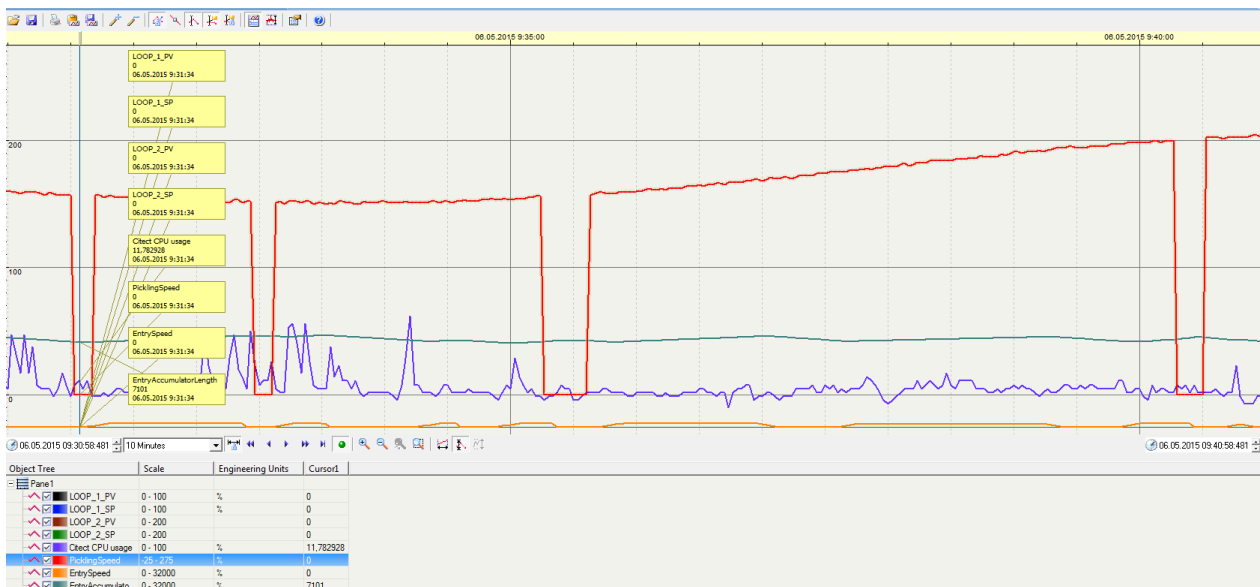


Рисунок 4 – Дополнительный видеокادر «Тренды»

Для примера рассмотрим варианты мнемонического отображения конвейера при различных состояниях (рисунок 5).



Рисунок 5 – Варианты мнемонического отображения конвейера

Детальная информация о текущем состоянии агрегата, причинах его неготовности или аварии дается в виде текстовых сообщений на всплывающих диагностических окнах. Текстовые сообщения (аварийные или предупреждающие признаки) выделяются черным цветом на фоне прочих сообщений, а пиктограмма слева от текста загорается красным для привлечения внимания диспетчера о нарушении работы оборудования.

В системе управления ОФ «Калтанская-Энергетическая» предусмотрены три режима управления технологической схемой:

- автоматическое управление (режим «Автомат» – основной режим, при котором автоматически реализуются все информационные и управляющие функции);
- дистанционное управление (режимы «Дистанция», «Локальный Дистанция»), при котором системой автоматически реализуются все информационные функции, но управление каждым агрегатом (включение/выключение) выполняется диспетчером;
- местное управление (режимы «Местный», «Локальный Местный» – вспомогательные, наладочные), при котором автоматически реализуются все информационные функции, а управление каждой отдельной позицией оборудования осуществляется по командам с местных постов управления.

Выбор режима управления технологическим комплексом «Автомат», «Дистанция», «Местный» осуществляется с помощью пульта управления, расположенного возле рабочего места диспетчера (рисунок 6).

ОФ «Калтанская-Энергетическая» была построена за очень короткий срок – 14 месяцев, при стандартном сроке строительства в 3 года. Это стало возможным, за счет параллельного, одновременного выполнения таких работ как проектирование, заказ и поставка

оборудования, строительство, монтаж оборудования, его пуско-наладка, за счет упреждающей разработки ИО.

Использование SCADA-системы Vijeo Citect для создания ИО системы управления углеобогащительной фабрикой «Калтанская-Энергетическая» позволило в короткие сроки полностью решить все задачи, которые были поставлены заказчиком:



Рисунок 6 – Рабочее место диспетчера ОФ «Калтанская-Энергетическая»

- задачи визуализации хода технологического процесса;
- задачи предоставления удобного пользовательского интерфейса с возможностью оперативного вмешательства в управление процессом,
- задачи по накоплению архивов предыстории и предоставлению архивных данных в наглядном и удобном для принятия решений виде;
- задачи по генерации и хранению тревожных сообщений;
- задачи по формированию отчетных ведомостей.

Библиографический список

1. Сазыкин Г.П. Проектирование и строительство углеобогащительных фабрик нового поколения/ Г.П. Сазыкин, Б.А. Синеокий, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003 – 126 с.
2. Мышляев Л.П. Автоматизация управления углеобогащительными фабриками / Л.П. Мышляев, С.Ф. Киселев, А.А. Ивушкин и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003. – 304 с.
3. Myshlyayev L.P. Algorithmization of Coal Dressing Process Control / L.P. Myshlyayev, A.A. Ivushkin, G.P. Sazykin, S.F. Kiselyov // XV International Coal Preparation Congress. – China, 2006.
4. Алгоритмы и системы автоматизации управления объектами угольной промышленности. Монография / А.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер и др. // Новокузнецк: СибГИУ, 2008. – 116 с.
5. Планирование создания и испытание автоматизированных промышленных комплексов (на примере углеобогащительных фабрик): учеб. пособие / А.А.Ивушкин, В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 105 с.
6. Руководство по решениям в автоматизации. Практические аспекты систем управления технологическими процессами / Под ред. Фролова Ю.А., Хохловского В.Н. – Москва: ЗАО «Шнейдер Электрик», 2011. – 320 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ*

Шилов В.А., Куделин С.П., Инатович Ю.В., Челнокова В.Д.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»,
г. Екатеринбург, Россия*

Решение задач автоматизированного проектирования технологических режимов прокатки возможно на основе применения методов искусственного интеллекта, одним из проявлений которого являются экспертные системы (ЭС), находящие все большее применение в различных предметных отраслях [1–4 и др.]. В Уральском федеральном университете разработана ЭС для анализа и проектирования технологии сортовой прокатки.

Разработанная нами ЭС технологии сортовой прокатки предназначена для оперативного анализа и экспертной оценки технологических процессов прокатки сортовых профилей на станах с непрерывным и последовательным расположением рабочих клетей. Она позволяет решать широкий круг задач моделирования, диагностики и оптимизации действующих и проектируемых технологических процессов, определения параметров настройки прокатных станов при реализации рассчитанных технологических режимов.

В частности, специалисту-пользователю система предоставляет возможность:

- рассчитывать полный комплекс технологических параметров прокатки заданного профиля и проводить их экспертную оценку;
- определять влияние температуры нагрева заготовки на технологические параметры и нагруженность оборудования стана;
- моделировать влияние скоростного режима прокатки на изменение технологических параметров и условия работы прокатных клетей;
- определять влияние марки прокатываемой стали на заполнение калибров и параметры силовой загрузки оборудования;
- определять возможность прокатки заданной марки стали в условиях действующей калибровки валков прокатного стана;
- находить причины поломок оборудования рабочих клетей;
- прогнозировать точность прокатки заданного профиля на стане с заданной жесткостью рабочих клетей;
- выявлять резервы совершенствования технологии по различным показателям;
- проводить оптимизацию и рационализацию действующих и проектируемых технологических процессов по различным критериям;
- определять установочные межвалковые зазоры в рабочих клетях при прокатке заданного профиля по запроектированным технологическим режимам.

Для функционирования ЭС технологии сортовой прокатки были созданы базы знаний о предметной области, основанные на теоретических и экспериментальных исследованиях, а также обобщения опыта производства сортовых профилей на действующих станах.

Декларативные знания (характеристика прокатных станов, сортамент прокатываемых профилей, калибровки валков и режимы прокатки, требования к качеству и точности профилей и т.п.) представлены в виде 5–ти реляционных баз данных (БД).

Для представления процедурных (формализованных) знаний о технологических процессах сортовой прокатки допустимо использовать различные математические модели. В ЭС мы применили математическую модель формоизменения и энергосиловых парамет-

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановление № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.А03.21.0006.

ров, разработанную в УрФУ на основе использования вариационных принципов теории пластичности и статистического обобщения действующих калибровок валков [5].

Для обработки комплекса формализованных знаний с целью принятия решения применили производственные модели.

Структурная схема ЭС технологии сортовой прокатки приведена на рисунке 1. В ее состав входят 13 основных модулей.



Рисунок 1 – Структурная схема экспертной системы технологии сортовой прокатки

Функционирование системы начинается с формирования исходной информации в модуле 1. При этом необходимые для решения задачи параметры вызываются из соответствующих баз данных (БД) и записываются в специальные файлы-таблицы. В разработанную ЭС включены следующие БД:

- по составу прокатных станов, работающих на отечественных металлургических заводах, и сортаменту прокатываемых на них профилей (БД «Заводы, станы, сортамент»);
- по технической характеристике прокатных станов (БД «Техническая характеристика стана»);
- по калибровкам валков и режимам деформации при прокатке характерных профилей (БД «Калибровка валков»);
- по требованиям стандартов к точности прокатываемых профилей (БД «Требования

к точности»);

– по коэффициентам для определения сопротивления деформации различных сталей и сплавов (БД «Сопротивление деформации»).

Если анализируемый прокатный стан и технологический режим в БД отсутствуют, то информация о технической характеристике этого стана, калибровке валков и технологических режимах прокатки предварительно вводится в соответствующие БД. Таким образом, накопление информации в БД создает возможность проектирования технологии прокатки новых профилей по аналогам.

Сформированная исходная информация подвергается диагностике на предмет выявления ошибок (см. модуль 2). Предусмотрено графическое изображение анализируемых или проектируемых калибров и задаваемых в них полос на экране монитора (модуль «Графическое отображение»).

На основе сформированной исходной информации в блоке 4 производится расчет полного комплекса технологических и энергосиловых параметров моделируемого процесса.

Комплексная модель расчета калибровок валков и технологических режимов прокатки позволяет рассчитывать формоизменение металла и энергосиловые параметры для любой системы калибров простой формы в зависимости от следующих безразмерных параметров однозначно характеризующих форму и размеры очага деформации при прокатке по любой системе калибров, например, по системе овал–овал: приведенный диаметр валков $A = D_* / H_1$; коэффициент обжатия $1/\eta = H_0 / H_1$; отношение сторон задаваемого раската $a_0 = H_0 / B_0$ и калибра $a_k = B_k / H_1$; степень заполнения предыдущего по ходу прокатки калибра $\delta_0 = H_0 / H'_0$; для ящичных калибров, кроме перечисленных параметров, – выпуск ящичного калибра $\text{tg } \varphi$. Условия трения на контактной поверхности характеризуются показателем трения $\psi = \tau / \tau_s$, определяемым в зависимости от температуры металла и схемы прокатки (τ – напряжения трения, τ_s – предел текучести металла на сдвиг).

С учетом данных параметров рассчитывают следующие характеристики формоизменения металла:

– коэффициент уширения

$$\beta = 1 + C_0 \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)^{C_1} A^{C_2} a_0^{C_3} a_k^{C_4} \delta_0^{C_5} \psi^{C_6} \text{tg} \varphi^{C_7} \left[1 + 0,6 \left(\frac{\sigma_{s_i}}{\sigma_{s_6}} - 1 \right)^{0,544} \right],$$

– ширину полосы $B_1 = B_0 \beta$,

– степень заполнения калибра $\delta_1 = B_1 / B_k$,

– площадь поперечного сечения раската $\omega_1 = H_1^2 f(\delta_1, a_k, \text{tg} \varphi)$,

– коэффициент вытяжки $\lambda = \omega_0 / \omega_1$,

где $C_0, C_1, C_2, \dots, C_7$ – коэффициенты, принимающие численные значения в зависимости от схемы прокатки;

σ_{s_i} и σ_{s_6} – сопротивление деформации прокатываемой (σ_{s_i}) и базовой низкоуглеродистой стали (Ст3) определяемое по методу термомеханических коэффициентов А.А.Третьякова–В.И.Зюзина, Л.В.Андреюка–Г.Г.Тюленева или каким-либо другим методам [6, 7].

Энергосиловые параметры рассчитывают по формулам:

– среднее контактное давление $\delta = 1,15 n_\sigma \sigma_s$,

– сила прокатки $P = pF$,

– крутящий момент деформации $M_{\text{вал}} = 0,287 \sigma_s H_1^3 A^2 n_{\text{вал}}$,

– мощность прокатки $N_{\text{пр}} = 2 M_{\text{вал}} H_1 U / A$,

где n_{σ} – коэффициент напряженного состояния, учитывающий влияние контактного трения и жестких концов; F – контактная площадь; $n_{\text{вал}}$ – коэффициент мощности прокатки; U – скорость прокатки. Коэффициенты n_{σ} , $n_{\text{вал}}$ и контактную площадь определяют в зависимости от схемы прокатки по формулам [5].

Для схем прокатки, включающих калибры, форма которых отличается от обычной формы калибров простой формы, система расчетов предусматривает определение энергосиловых параметров, при этом фасонные калибры и раскаты заменяются соответственными прямоугольными.

Скорости прокатки U_i в каждой i -ой клетке непрерывного и последовательного стана рассчитываются с учетом условия постоянства секундных объемов: $U_i = U_{i-1} \cdot \lambda_i$. Одновременно рассчитываются минимально и максимально допустимые скорости прокатки U_{mini} и U_{maxi} в зависимости от предельной частоты вращения и катающего диаметра валков каждой клетки.

Для расчета температуры раската по проходам в системе предусмотрены две математические модели:

- с учетом потерь тепла за счет лучеиспускания и разогрева металла от деформации (две статьи теплового баланса);

- с учетом потерь тепла за счет лучеиспускания, конвекции, теплопроводности и разогрева металла от деформации (четыре статьи теплового баланса).

В результате расчетов формируются таблицы расчетных данных (модуль «Таблицы результатов»). Предусмотрена возможность представления расчетных параметров в виде графиков изменения их по проходам. С этой целью в состав системы включен модуль «Графики».

Полученная расчетная информация подвергается экспертной оценке с проверкой всех ограничений, рассчитываются критерии качества проектируемого процесса (блоки 7 и 8).

В ЭС предусмотрены различные ограничения режимов прокатки в каждом i -ом проходе: по степени заполнения калибров, по условиям захвата металла валками и устойчивости полос в калибрах, по прочности оборудования рабочих клетей и др.

Для оценки качества и оптимизации анализируемых и проектируемых технологических процессов в системе предусмотрено использование следующих критериев:

- производительность прокатного стана, рассчитываемая в зависимости от такта T_T или конечной скорости прокатки U_K ;

- расход электроэнергии на прокатку W_{Σ} ;

- расход топлива W_T , контролируемый по температуре нагрева металла t_0 ;

- степень заполнения калибров δ_1 , влияющая на качество формоизменения металла;

- степень нагруженности оборудования рабочих клетей стана.

Результаты оценки системы ограничений приводятся к безразмерному виду и формируются в виде алфавита.

Продукционные модели базы знаний (блок 9) содержит набор правил, обобщающих опыт специалистов-экспертов по улучшению качества технологических процессов. Знания хранятся с использованием таблиц целей, выводов, правил, условий и фактов.

В зависимости от решаемой задачи (поставленной цели) предусмотрено несколько наборов (таблиц) правил, представляющих собой цепочку логических рассуждений, основанных на применении продукций вида [2; 3] «ЕСЛИ... ТО» (условие P действие). В указанной конструкции правил между условием и действием располагаются факты, в качестве которых используются полученные расчетные данные и их экспертные оценки.

Например:

«ЕСЛИ отношение расчетного к допустимому углу захвата $\alpha / [\alpha] > 1,05$, ТО необхо-

димо уменьшить коэффициент обжатия $1/\eta$ »;

«ЕСЛИ степень загрузки электродвигателя $k_{дв}$ равна или меньше 0,4, ТО рекомендуется увеличить коэффициент вытяжки λ »;

«ЕСЛИ степень загрузки по крутящему моменту $k_p > 1$, ТО возможна поломка оборудования клетки, необходимо перераспределить обжатия» и т.п.

Наряду с этим используются правила типа AUBUA&B и преобразования Де Моргана [3].

Применяя соответствующий набор правил последовательно для каждого прохода, система определяет резервы улучшения технологического процесса и формирует в блоке 10 (Машине вывода) решение по изменению режима деформации металла, выдавая его в виде сообщения на экран монитора. Пользователю предоставляется возможность согласиться с этим решением или внести в него коррективы, изменить соответствующим образом исходные данные и произвести повторные расчеты. Путем такого диалога с компьютером пользователь добивается получения оптимального решения поставленной задачи. Параметры рассчитанного технологического процесса заносят в БД с целью накопления информации.

Программное обеспечение описанной ЭС разработано для операционной системы Windows с использованием среды визуального программирования Borland C++ Builder [8], БД основаны на использовании таблиц Paradox.

Указанные программные и технические средства обеспечивают достаточно простой и удобный интерфейс пользователя с компьютером посредством использования современных средств и методов разработки.

Программный комплекс «Экспертная система технологии сортовой прокатки зарегистрирован» в РОСПАТЕНТе [9].

Вывод. Разработана ЭС технологии сортовой прокатки, которая может быть использована в НИИ и на металлургических заводах при совершенствовании действующих и проектировании новых технологических процессов сортовой прокатки.

Библиографический список

1. Джексон П. Введение в экспертные системы: Учеб. пособие / П. Джексон М.: Вильямс, 2001. 624 с.
2. Егоров Н.В. Диагностические информационно-экспертные системы / Н. В. Егоров, А. Г. Карпов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2002. 470 с.
3. Ручкин В.Н., Фулин В.А. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы / В.Н.Ручкин, В.А.Фулин. СПб.: ВHV-Санкт-Петербург, 2009. 240 с.
4. Джексон П. Введение в экспертные системы. 3-е издание / П.Джексон. М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. 411 с.
5. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков / В.К.Смирнов, В.А.Шилов, Ю.В.Инарович. М.: Теплотехник, 2010. 490 с.
6. Зюзин В.И., Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. – Челябинск: Металл, 2000. 368 с.
7. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки / Г. С. Никитин М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009 . 399 с.
8. Шилдт Г. Теория и практика C++ / Г. Шилдт. СПб: ВHV-Санкт-Петербург, 2001. 412 с.
9. Программный комплекс «Экспертная система технологии сортовой прокатки» / С.П.Куделин, В.К.Смирнов, В.А.Шилов, Ю.В.Инарович // Свидетельство № 2001610602 от 25 мая 2001 г.

ОБ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ ПРИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Чжан Е.А.

Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия

Введение. При идентификации многомерных безынерционных процессов исследователь не обладает большим количеством априорной информации об исследуемом объекте, известны лишь некоторые качественные свойства объекта (линейность или нелинейность, динамический или статический объект), а также выборка наблюдений, полученная при измерении входных и выходных переменных процесса. В силу того что математическое описание объекта остается неизвестным, целесообразно использовать непараметрические методы идентификации, к которым относится непараметрическая оценка функции регрессии по наблюдениям Надарая-Ватсона. Данная оценка относится к классу локальных аппроксимаций и в силу некоторых свойств чувствительна к недостаткам в выборке наблюдений. К недостаткам можно отнести «разреженности» - области в пространстве наблюдений с небольшим числом элементов, а также пустоты в регламентированной области протекания процесса. Оценка в таких областях будет давать неудовлетворительный результат. Предлагается методика генерации рабочей выборки наблюдений, использование которой позволит повысить точность решения задачи идентификации в несколько раз.

Постановка задачи. Рассмотрим многомерный безынерционный объект с запаздыванием, общая схема которого представлена на рисунке 1 [1, 2].

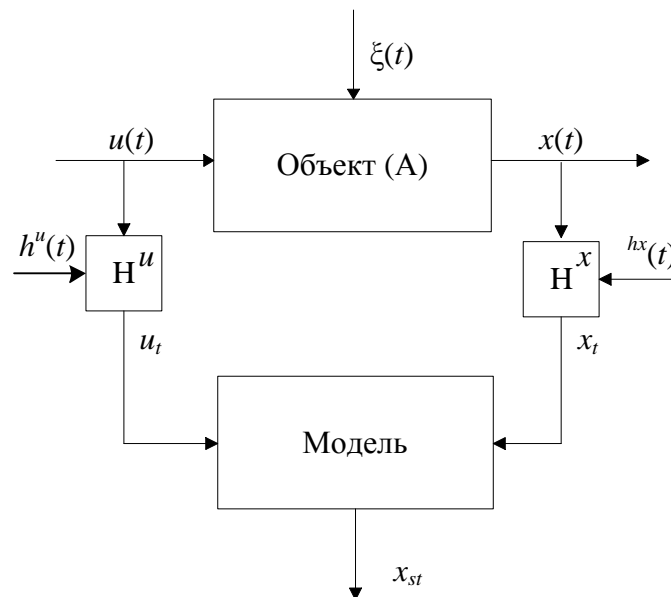


Рисунок 1 – Общая схема исследуемого процесса

На общей схеме процесса (рисунок 1) приняты следующие обозначения: A – это неизвестный оператор объекта; $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)) \in \Omega(u) \subset \mathbb{R}^m$ – векторное входное воздействие объекта размерностью m ; $x(t) \in \Omega(x) \subset \mathbb{R}^1$ – выходная переменная; t – непрерывное время, Δt – дискретность контроля «входных-выходных» переменных процесса; $\xi(t)$ – векторная случайная помеха; H^u , H^x – блоки контроля входных и выходных переменных, в которых действуют случайные помехи $h^u(t)$ и $h^x(t)$ с нулевыми математическими ожиданиями и ограниченными дисперсиями; u_t и x_t – измерения переменных $u(t)$ и

$x(t)$ в дискретные моменты времени. Таким образом, измеряя значения входных и выходных переменных, получим выборку $\{u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$, где s – объем выборки.

Содержание задачи идентификации состоит в построении модели исследуемого процесса на основании имеющейся обучающей выборки $\{u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$ с учетом имеющейся априорной информации об объекте.

Непараметрическая идентификация. На практике при рассмотрении реальных производственных процессов в металлургии, строительной индустрии априорные сведения об объекте весьма невелики, известны лишь некоторые качественные свойства объекта, например, однозначность или неоднозначность, линейность динамического объекта или нелинейность и др. Целесообразно использовать непараметрические методы идентификации, например, непараметрическую оценку функции регрессии по наблюдениям Надарая-Ватсона [3, 4]:

$$x_s(u) = \sum_{i=1}^s x_i \prod_{j=1}^m \Phi(c_s^{-1}(u^j - u_i^j)) / \sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^m \Phi(c_s^{-1}(u^j - u_i^j)), \quad (1)$$

где $\Phi(\tilde{n}_s^{-1}(u^j - u_i^j)), i = \overline{1, s}, j = \overline{1, m}$ – ядерная колоколообразная функция и коэффициент размытости ядра c_s удовлетворяют условиям сходимости [3, 4].

Параметр размытости c_s определяется путем решения задачи минимизации квадратичного критерия соответствия выхода объекта и выхода модели, основанного скользющем экзамене, когда в модели (1) исключается i -я переменная, предъявляемая для экзамена:

$$R(c_s) = \sum_{k=1}^s (x_k - x_s(u_k, c_s))^2 = \min_{c_s}, k \neq i. \quad (2)$$

Заметим, что колоколообразная функция $\Phi(\tilde{n}_s^{-1}(u^j - u_i^j)), i = \overline{1, s}, j = \overline{1, m}$ обращается в ноль, если абсолютное значение аргумента $\tilde{n}_s^{-1}|u^j - u_i^j|$ больше некоторой константы η . При произвольном значении u^j величина аргумента $(\tilde{n}_s^{-1}(u^j - u_i^j))$ колоколообразной функции зависит от значения c_s . Например, если в качестве колоколообразной функции было выбрано треугольное ядро:

$$\Phi(c_s^{-1}(u^j - u_i^j)) = \begin{cases} 1 - |c_s^{-1}(u^j - u_i^j)|, & \text{если } c_s^{-1}|u^j - u_i^j| \leq 1, \\ 0, & \text{если } c_s^{-1}|u^j - u_i^j| > 1; \end{cases} \quad (3)$$

то $\eta = 1$. В дальнейшем мы будем говорить о c_s -окрестности точки $u = u^j, j = \overline{1, m}$ при фиксированном c_s . При анализе непараметрической оценки функции регрессии по наблюдениям (1) могут возникать ситуации, когда при $u = u^j, j = \overline{1, m}$ ни один из элементов обучающей выборки $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$ не принадлежит c_s -окрестности, что приводит, к неопределенности (1) вида $[0/0]$.

Оценка $x_s(u')$ в точке $u' = (u'_1, u'_2, \dots, u'_m)$ восстанавливается на основе тех элементов выборки, которые находятся в c_s -окрестности точки u' . Очевидным является тот факт, что от количества элементов, по которым вычисляется оценка, зависит ее точность. В случае, если в c_s -окрестности точки u' нет ни одного элемента обучающей выборки, то оценку будет дать невозможно. В этом случае оценка (1) будет равна неопределенности вида $[0/0]$. Одним из возможных способов получения оценки на этом пути является увеличение параметра размытости c_s . В некоторых случаях это позволит получить прогноз (уйти от неопределенности), но точность прогноза $x_s(u')$ может оказаться неудовлетворительной.

Точность непараметрической оценки (1) существенно зависит от выборки наблюде-

ний $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$. Во многих практических задачах, даже для одного и того же исследуемого процесса, расположение элементов выборки $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$ на различных интервалах времени может существенно отличаться. Это, естественно, отразится на точности прогноза $x_s(u)$ при $u = u'$. Собственно отсюда и возникла проблема генерации рабочей обучающей выборки из исходной $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$. Именно в исходной обучающей выборке мы встречаемся с разреженностями, пропусками и сгущениями в различных подобластях области определения $\Omega(x, u)$. Проиллюстрируем последнее рисунком 2.

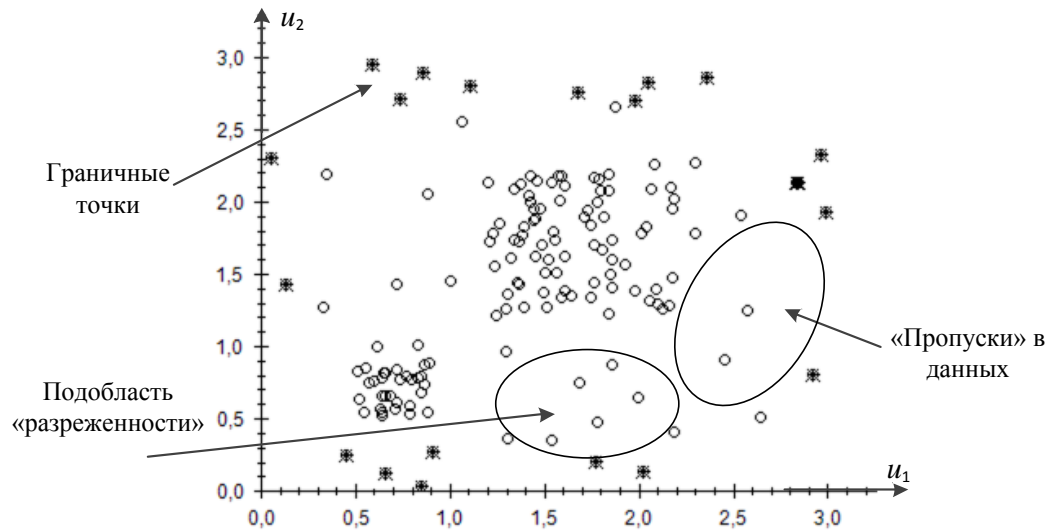


Рисунок 2 – Поле корреляции по входным переменным

Из рисунка 2 видны подобласти разрежения, сгущения, пропусков, а также звездочкой выделены граничные точки, где непараметрическая оценка Надарая-Ватсона (1) дает более грубые ошибки. Наша задача состоит в том, чтобы алгоритмически преобразовать элементы выборки, показанные на рисунке 2, в рабочую выборку, например, представленную на рисунке 3.

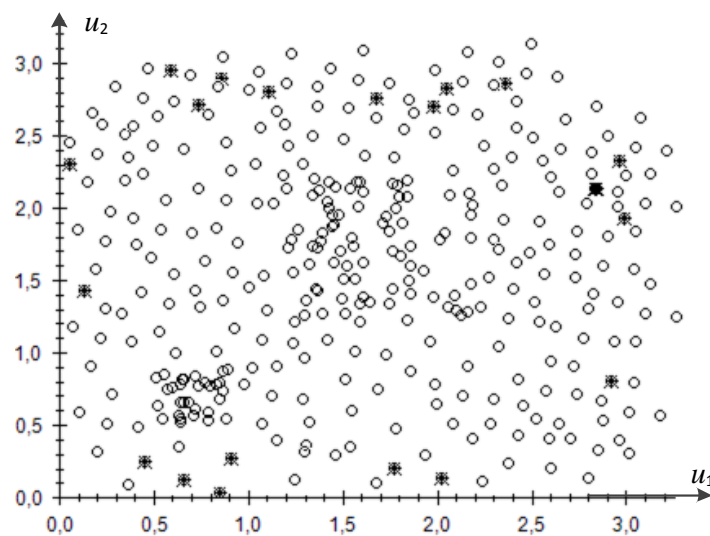


Рисунок 3 – Поле корреляции по входным переменным

Был рассмотрен в качестве примера двумерный случай вектора $u \in \Omega(u) \subset R^2$. При компьютерном моделировании будет рассмотрен случай более высокой размерности.

Методика генерации рабочей выборки наблюдений. Идея генерации рабочей выборки наблюдений $\{\tilde{x}_i, \tilde{u}_i, i = \overline{1, N}, N > s\}$ на основе исходной $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$ состоит в том, что в области разреженности и пропусков дополняются новыми искусственно сгенерированными элементами.

Методика получения новой выборки состоит из нескольких этапов. На первом этапе мы находим элементы исходной выборки наблюдений с числом элементов в c_s -окрестности выше среднего значения по всей выборке. Данные элементы исключаются из рассмотрения.

На втором этапе, в окрестностях оставшихся элементов генерируются новые наблюдения \tilde{u} . Например, если в c_s -окрестность элемента u_i попало 7 элементов из исходной выборки $\{u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$ при среднем 6, то не генерируем ни одного нового элемента, если же в окрестности находится 4 элемента, то дополнительно генерируем 2 элемента ($k=2$). Эти элементы \tilde{u}_k генерируются в соответствии со следующим правилом:

$$\tilde{u}_{ki}^j = u_i^j + \zeta_k^j c_s, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, s'}, k = \overline{1, k_1}, \quad (4)$$

где ζ_k^j – случайная величина, распределенная по равномерному закону в интервале $[-1; 1]$;

u_i^j – значение входных переменных элемента u_i , в окрестности которого происходит генерация точки \tilde{u}_k .

Для сгенерированных элементов \tilde{u} нет возможности получить значение выхода объекта $x(\tilde{u})$. Поэтому для таких элементов вычисляем значение непараметрической оценки $x_s(\tilde{u})$ (1).

Исходная выборка наблюдений в совокупности с новыми сгенерированными элементами составляет рабочую выборку $\{\tilde{x}_i, \tilde{u}_i, i = \overline{1, N}, N > s\}$.

Вычислительный эксперимент. Пусть математическое описание объекта будет иметь следующий вид:

$$x(u) = 0,5u_1 - \sin 3u_2 + 0,3u_3^2 + \sqrt{u_4} + 0,2u_5^2 + \xi, \quad (5)$$

где ξ – равномерно распределенная помеха, $u_i \in [0; 3], i = \overline{1, 5}$.

На рисунке 4 представлены срезы по каждой переменной объекта (5). Срезы строились следующим образом: при вычислении значения выхода объекта (5) значения всех переменных кроме одной, по которой строится срез, фиксируются на одном уровне. В данном случае фиксируемые переменные принимали значение середины интервала, т.е. 1,5, переменная по которой строится срез, значения от 0 до 3. Линия «1» – график зависимости $x(u_1)$ при фиксированных значениях u_2, u_3, u_4, u_5 и т.д. Как видно из графика (рисунок 4) характеристика объекта является нелинейной.

Уравнение (5) задается только для генерации выборки наблюдений $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$ и в дальнейшем считается неизвестным. В качестве модели примем непараметрическую оценку Надарая-Ватсона (1). О качестве полученной модели будем судить по относительной ошибке аппроксимации:

$$W = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (x_{si} - x_i)^2 / \frac{1}{s-1} \sum_{i=1}^s (x_i - \hat{m}_x)^2}, \quad (5)$$

где \hat{m}_x – оценка математического ожидания выходной переменной x .

Исходная выборка содержит разреженности и пропуски, ее объем варьировался от 200 до 2000 наблюдений. Затем с помощью предложенной методики была сформирована рабочая выборка наблюдений, которая использовалась в качестве обучающей при вычисле-

нии оценки (1). В рамках вычислительного эксперимента мы обладаем возможностью сформировать новую экзаменующую выборку объемом 100 наблюдений. Результаты моделирования представлены в таблице 1. В таблице 1 приняты следующие обозначения: s – это объем исходной выборки, «до» – относительная ошибка восстановления (5) по исходной выборке $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$, «после» – относительная ошибка восстановления (5) по рабочей выборке $\{\tilde{x}_i, \tilde{u}_i, i = \overline{1, N}, N > s\}$, которая включает в себя как элементы исходной выборки, так и сгенерированные с помощью предложенного алгоритма, A – число элементов экзаменующей выборки, для которых невозможно (из-за возникновения неопределенности [0/0]) получить прогноз по обучающей (исходной выборке), B – по рабочей.

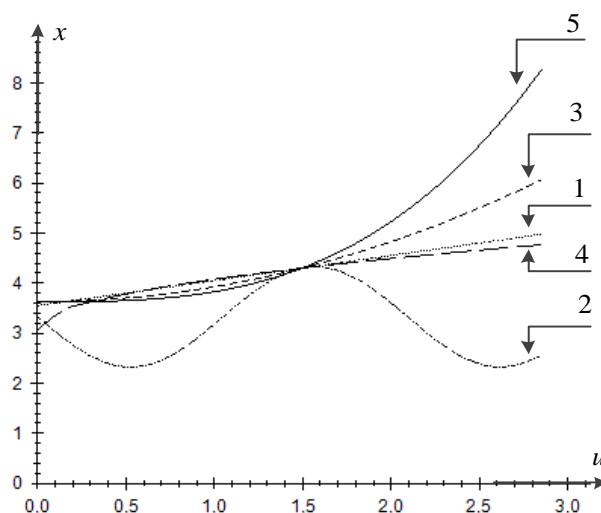


Рисунок 4 – Характеристика объекта (5)

Таблица 1 – Результаты моделирования объекта (5)

| | Ошибка «до» | Ошибка «после» | A | B |
|----------------------------------|-------------|----------------|----|---|
| $s = 200$ | | | | |
| Экзаменующая выборка | 0,879 | 0,655 | 43 | 2 |
| Исходная выборка | 0,306 | 0,181 | 13 | 0 |
| Граничные точки исходной выборки | 0,674 | 0,277 | 11 | 0 |
| $s = 500$ | | | | |
| Экзаменующая выборка | 0,78 | 0,533 | 28 | 0 |
| Исходная выборка | 0,323 | 0,185 | 0 | 0 |
| Граничные точки исходной выборки | 0,558 | 0,249 | 0 | 0 |
| $s = 1000$ | | | | |
| Экзаменующая выборка | 0,555 | 0,381 | 8 | 0 |
| Исходная выборка | 0,259 | 0,195 | 6 | 0 |
| Граничные точки исходной выборки | 0,42 | 0,2 | 6 | 0 |
| $s = 1500$ | | | | |
| Экзаменующая выборка | 0,5 | 0,368 | 27 | 0 |
| Исходная выборка | 0,245 | 0,139 | 14 | 0 |
| Граничные точки исходной выборки | 0,446 | 0,181 | 12 | 0 |
| $s = 2000$ | | | | |
| Экзаменующая выборка | 0,578 | 0,3 | 18 | 0 |
| Исходная выборка | 0,216 | 0,129 | 8 | 0 |
| Граничные точки исходной выборки | 0,377 | 0,169 | 8 | 0 |

С увеличением объема выборки величина относительной ошибки аппроксимации

уменьшается. Выборка генерировалась случайным образом, так, например, при $s = 1000$ и $s = 1500$ ошибка моделирования отличается незначительная, но во втором случае было большее количество элементов выборки, для которых не удалось получить значение прогноза. Использование рабочей выборки во всех случаях приводит к повышению качества идентификации. Значительное улучшение качества восстановления (в среднем 3 раза) наблюдается для граничных элементов выборки.

Заключение. Были рассмотрен случай, когда выборка наблюдений обладает такими недостатками, как разреженности и пропуски, которые негативно влияют на точность восстановления непараметрической оценки. Предложена методика генерации рабочей выборки наблюдений. Вычислительные эксперименты показали, что использование рабочей выборки приводит к повышению точности восстановления в несколько раз.

Библиографический список

1. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984, 320 с.
2. Эйххофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 681 с.
3. Медведев А.В. Основы теории адаптивных систем. – Красноярск: изд-во Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та, 2015, 525 с.
4. Надарая, Э.А. Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой. – Тбилиси : издательство Тбилисского университета, 1983. 194 с.

О НАСТРОЙКЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БЕЗЫНЕРЦИОННЫХ СИСТЕМ

Михов Е.Д.

*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

Введение

Исследуется проблема моделирования дискретно-непрерывных процессов, в пространстве «входных - выходных» переменных. Моделирование данных процессов может осуществляться при помощи различных параметрических и непараметрических. В данном докладе рассмотрено моделирование при помощи непараметрических методов. Такое решение было принято, ввиду того, что непараметрическая теория, в отличие от параметрической теории, предполагает, что известны только качественные характеристики процесса. Зачастую, моделируемые объекты обладают неизвестной, сложной структурой. Учитывая эти факты, использование и развитие непараметрической теории продолжает быть актуальной задачей современности.

Результаты, представленные в докладе, могут быть полезны при моделировании и управлении в условиях быстрого поступления информации и меняющейся обстановки.

Идентификация многих стохастических объектов часто сводится к идентификации статических систем. Наиболее общая схема исследуемого дискретно-непрерывного процесса может быть представлена на нижеследующем рисунке 1:

На рисунке 1 приняты обозначения: A – неизвестный оператор объекта, $\overline{x(t)}$ – выходной вектор процесса, $\overline{u(t)}$ – вектор управляющих воздействий, $\overline{\mu(t)}$ – вектор входных неуправляемых, но измеряемых переменный процесса, $\overline{\lambda(t)}$ – вектор входных неуправляемых и не измеряемых переменная процесса, $\xi(t)$ – случайное воздействие, $\omega^i(t)$: $i = 1, 2, \dots, k$ – переменные процесса, контролируемые по длине объекта, (t) – непрерывное время, $H^\mu, H^u, H^x, H^z, H^q, H^\omega$ – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля, приборы для измерения наблюдаемых

переменных, $\mu_t, u_t, x_t, \omega_t$ – означает измерение $\mu(t), u(t), x(t), \omega(t)$ в дискретное время, $h^\mu(t), h^u(t), h^x(t), h^\omega(t)$ – со значком вверх – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса.

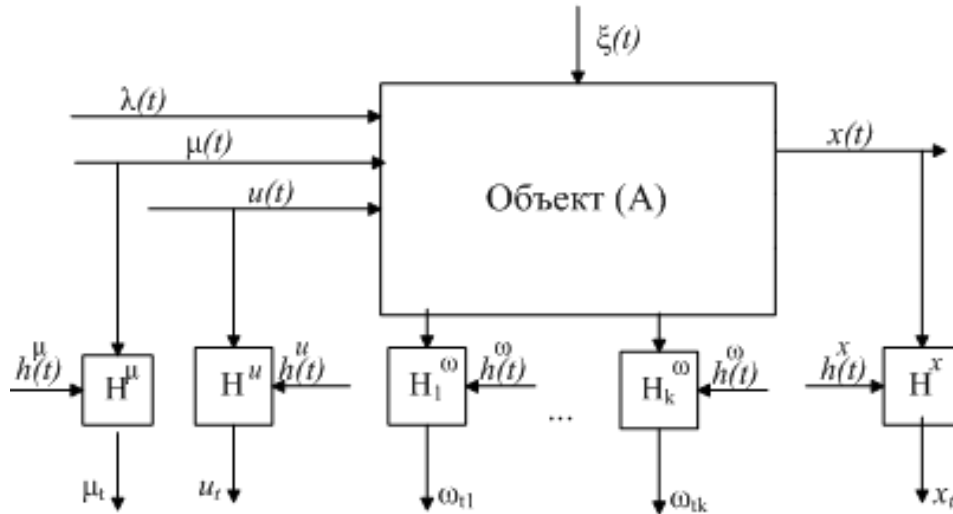


Рисунок 1 – Общая схема исследуемого процесса

Стоит рассказать об идентификации в «узком» и «широком» смысле.

При моделировании разнообразных дискретно-непрерывных процессов в настоящее время доминирует теория идентификации в «узком» смысле. Ее содержание состоит в том, что на первом этапе, на основании имеющейся априорной информации, определяется параметрический класс оператора объекта A^α , например:

$$\tilde{x}_\alpha(t) = A^\alpha(u(t), \alpha), \quad (1)$$

где A^α – параметрическая структура модели;

α – вектор параметров.

На втором этапе осуществляется оценка параметров α на основе имеющейся выборки $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$, s – объем выборки. Успех решения задачи идентификации в этом случае существенно зависит от того, насколько «удачно» определен оператор (6).

Идентификация в «широком» смысле предполагает отсутствие этапа выбора параметрического класса оператора. Часто оказывается значительно проще определить класс операторов на основе сведений качественного характера, например, линейности процесса или типа нелинейности, однозначности либо неоднозначности и др. В этом случае задача идентификации состоит в оценивании этого оператора на основе выборки $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$

$$\tilde{x}_s(t) = A_s(u(t), \bar{x}_s, \bar{u}_s), \quad (2)$$

где $\bar{x}_s = (x_1, x_2, \dots, x_s)$, $\bar{u}_s = (u_1, u_2, \dots, u_s)$ – временные векторы. Оценка оператора A_s может быть осуществлена средствами непараметрической статистики. Примечательным здесь является то, что при этом исключается этап выбора параметрической структуры. Тем самым, можно утверждать, что идентификация в этом случае, а это вариант идентификации в «широком» смысле, является более адекватной реальным задачам практики.

Непараметрическая идентификация (которая относится к идентификации в широком смысле) представляется в виде моделирования при помощи ядерных оценок (3)

$$x_{s+1}^* = \frac{\sum_{i=1}^s u_{(i)1} \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{u_{n,s+1}^* - u_{n,i}}{c_s^x}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{u_{n,s+1}^* - u_{n,i}}{c_s^x}\right)} \quad (3)$$

В формуле (3) $\Phi(\cdot)$ – это ядерная «сглаживающая» функция (4), а c_s^x – коэффициент размытости ядра.

$$\Phi(o) = \begin{cases} 1 - |o|, & \text{если } |o| \leq 1, \\ 0, & \text{если } 1 < |o|. \end{cases} \quad (4)$$

Стоит сказать, что от выбранного коэффициента размытости, напрямую зависит качество построенной модели. Данный коэффициент определяет степень участия элементов выборки в вычислении \hat{x}_{s+1} в точке u_m (рисунок 2).

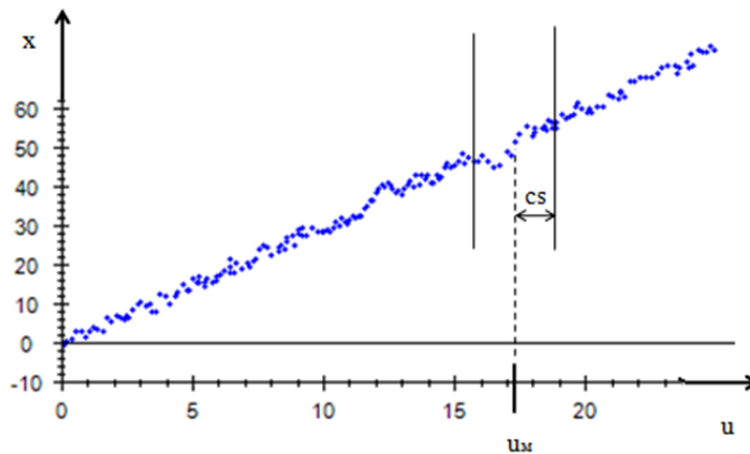


Рисунок 2 – Определение коэффициента размытости ядра

Как видно на рисунка 2 участвуют в построении модели в точке u_m только те переменные, у которых $|u - u_m| < c_s$, притом чем ближе $|u - u_m|$ к нулю, тем большее влияние оказывает данная точка на выход модели.

Логично предположить, что чем лучше подобран вектор коэффициента размытости, тем лучше будет и сама модель отражать реальный исследуемый процесс.

Ход исследования.

Стоит сказать, что априори нам неизвестна структура объекта, а так же неизвестна степень влияния каждого входного воздействия на выходной.

Смысл исследования заключается в выборе наиболее точного и быстрого способа оптимизации, а также в выяснении вопроса о необходимости оптимизации коэффициента размытости для каждого входного воздействия.

В докладе рассмотрены следующие алгоритмы оптимизации коэффициента размытости ядра: метод перебора, метод деформируемого многогранника и генетический алгоритм. В качестве критерия оптимизации была выбрана среднеквадратичная ошибка модели исследуемого процесса, вычисленная при помощи скользящего экзамена.

Для начала оптимизируем вектор коэффициента размытости ядра при помощи метода деформируемых многогранников. Слабостью данного метода можно считать то, что при нахождении минимума, он может «застрять» в локальном экстремуме. Для того, чтобы определить применим ли данный метод, для оптимизации c_s , построим график зависимости среднеквадратичной ошибки (σ) от c_s (рисунки 3, 4).

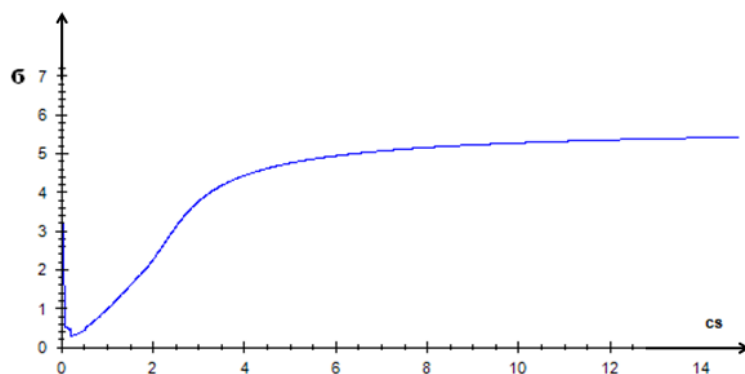


Рисунок 3 – Зависимость среднеквадратичной ошибки от коэффициента размытости ядра (2-мерный случай)

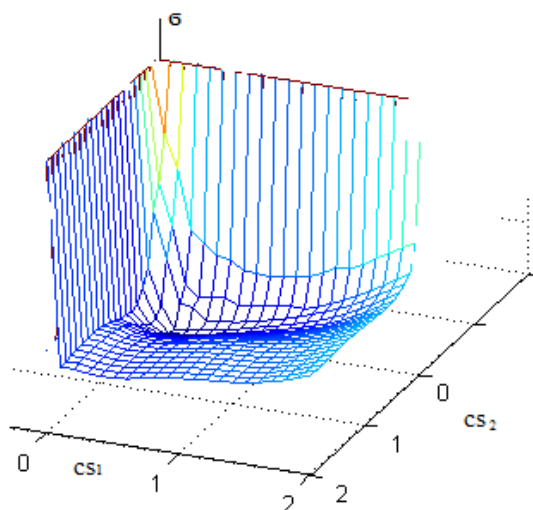


Рисунок 4 – Зависимость среднеквадратичной ошибки от коэффициента размытости ядра (3-мерный случай)

Как видно на рисунках 3 и 4, данная зависимость плавная, и в ней нет большого количества локальных минимумов. В связи с этим можно проводить оптимизацию cs при помощи метода деформируемого многогранника.

После этого вектор коэффициентов размытости ядра, будет оптимизироваться при помощи генетического алгоритма.

Вычислительный эксперимент

Моделируемый процесс имеет два входных воздействия и один выходной параметр. Обучающая выборка была взята в количестве 300. Помеха, воздействующая на объект, была равна 7 %. Критерием оптимизации была выбрана среднеквадратичная ошибка σ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Выведем результаты в виде таблицы 1.

Как мы можем видеть из таблицы 1, оптимизация вектора коэффициента размытости, занимает во много раз больше времени, чем оптимизация скалярного значения, при этом модель практически не становится лучше.

Также стоит отметить, что оптимизация при помощи метода деформируемых многогранников действует гораздо быстрее, чем оптимизация при помощи стандартного перебора или генетического алгоритма.

Таблица 1 – Результаты оптимизации cs

| Метод оптимизации | Оптимизируемый параметр | Время нахождения оптимального cs, миллисекунд | Среднеквадратичная ошибка σ |
|------------------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|
| Метод деформируемого многогранника | Вектор cs | 1118 | 0,75 |
| Метод деформируемого многогранника | Скаляр cs | 100 | 0,76 |
| Перебор возможных значений | Вектор cs | 26808 | 0,78 |
| Перебор возможных значений | Скаляр cs | 934 | 0,78 |
| Генетический алгоритм | Вектор cs | 17067 | 0,76 |
| Генетический алгоритм | Скаляр cs | 528 | 0,76 |

Заключение

В докладе приведены такие методы оптимизации как: метод деформируемых многогранников, генетический алгоритм и простой перебор возможных значений, и показаны результаты работы данных методов.

Также было доказано возможность использование методов локальной оптимизации для нахождения наилучшего коэффициента размытости ядра.

Было проведено сравнение между оптимизацией при помощи метода деформируемых многогранников, генетического алгоритма и оптимизацией при помощи стандартного перебора, где было доказано превосходство первого, в задаче оптимизации коэффициента размытости ядра.

Доказано, что оптимизация вектора коэффициентов размытости, является нецелесообразной, вследствие больших затрат времени, и малого изменения в точности модели исследуемого процесса.

Библиографический список

1. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. Москва: Наука, 1968.– 400 с.
2. Рубан А. И. Методы анализа данных: Учебное пособие. Издание 2-е, испр. и доп. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 319 с.
3. Prayoth Kumsawat. [A Genetic Algorithm Optimization Technique for Multiwavelet - Based Digital Audio Watermarking] EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010, vol. 1, p.15-25.

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ДУАЛЬНОМ ДВУХКОНТУРНОМ УПРАВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Банникова А.В., Корнет М.Е.

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. академика М.Ф. Решетнева,
Сибирский Федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

Введение

Проблема проектирования и исследования моделей динамических процессов, и создание интеллектуальных систем управления на их основе является одной из важных про-

блем теории управления. В настоящее время, наиболее распространенными типами регуляторов, обеспечивающих достаточно высокую точность при управлении различными процессами являются устройства управления, в основе которых лежит использование стандартных законов регулирования (П, ПИ, ПИД регуляторы и их разновидности). Следует отметить, что в ряде случаев качество управления при использовании подобных систем оказывается недостаточно эффективными. В основном это вызвано двумя основными факторами. Во-первых, типовые регуляторы при формировании управляющих воздействий используют только информацию об отклонении выходной величины от задающего воздействия, при этом данные о возмущениях, которые также влияют на выход процесса, при формировании управляющих воздействия не учитываются. Во-вторых, типовые регуляторы, не являются адаптивными. Это означает, что при переводе объекта от одного задающего воздействия к другому, регулятор не будет улучшить своих рабочих характеристик. Это значительно увеличивает время перерегулирования, и как следствие, повышает возможность выхода за пределы технологического регламента. Вместе с тем, исключение из схемы управления типовых регуляторов в большинстве случаев не является целесообразным. Это связано с тем, что типовые регуляторы, широко используемые в промышленности наиболее надежны и хорошо освоены на предприятиях. С учетом вышесказанного представляется целесообразным ввести внешний контур управления, содержащий адаптивное управляющее устройство, которое в процессе функционирования, улучшает рабочие свойства управляемой системы. Основная задача данного устройства управления – это корректирование работы типового регулятора. Это решение позволит повысить качество управления существующей системы, без вывода из эксплуатации функционирующих на предприятии типовых регуляторов. Таким образом, качество управления технологическим процессом повышается без потери надежности общей системы управления.

Постановка задачи

При наличии параметрической и непараметрической неопределенности структура модели процесса может быть частично параметризована. Например, можно предположить, что исследуемый процесс описывается уравнением:

$$x_t = f(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-m}, u_t, \mu_t), \quad (1)$$

где $f(\cdot)$ неизвестный функционал;

x_t – выходная переменная процесса;

u_t – управляющее воздействие;

μ_t – неконтролируемая входная переменная процесса;

m – известная «глубина» памяти [5], так или иначе найденная на основании имеющейся априорной информации.

Здесь существенным является то, что вид функционала не определен с точностью до параметров. Следует отметить, что в данном случае, параметрическая структура рассматриваемого процесса нам неизвестна, но можно говорить о частичной параметризации модели исследуемого процесса. Для изложения дальнейшего нам понадобится анализ следующей блок-схемы (рисунок 1).

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: (t) – непрерывное время, t – дискретное время, x_t^* – задающие воздействие для внешнего контура, x_t^{**} – задающие воздействие для внутреннего контура, случайные помехи измерений h_t^u, h_t^x , соответствующих переменных процесса, $\xi(t)$ – неконтролируемые случайные внешние воздействия. Контроль переменных осуществляется через интервал времени Δt , Наблюдая за системой, можно получить исходную выборку входных и выходных переменных $\{x_i, u_i, \mu_i, i = \overline{1, s}\}$, где s – объем выборки, индекс h у переменных объекта из соображения простоты опущен.

Управление, при котором управляющие воздействия носят двойственный характер,

называют дуальным управлением, которое было открыто А.А. Фельдбаумом и развито на основе теории статистических решений [1]. В дальнейшем значительное развитие получила теория дуального адаптивного управления для линейных стохастических систем с постоянными, но неизвестными параметрами [2, 3], а также были исследованы различные методы управления линейной дискретной системой с нестационарными случайными параметрами в присутствии помех [4]. Вышеуказанные методы и алгоритмы применимы для уровня параметрической неопределенности. В случае, когда структура динамического процесса не определена с точностью до вектора параметров, целесообразно применять теорию непараметрических систем управления, которая достаточно подробно изложена в [5].

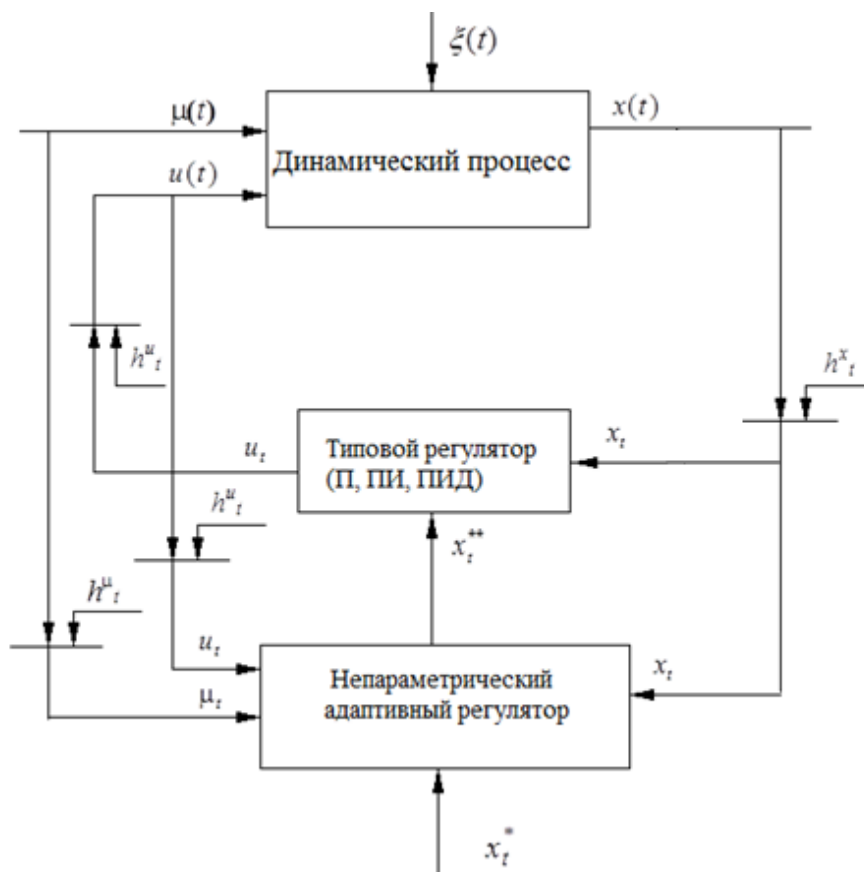


Рисунок 1 – Двухконтурная система управления динамическим процессом

Рассмотрим схему управления, представленную на рисунке 2.

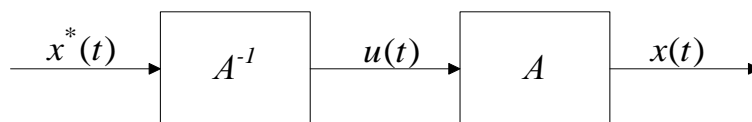


Рисунок 2 – Схема идеального управления

Введем оператор объекта A , описывающий процесс, т.е. $x(t) = A \langle u(t) \rangle$, где $u(t)$ – управляющее воздействие, $x(t)$ – выходная переменная объекта. Если существует оператор, обратный A , т.е. A^{-1} , $A^{-1}A = 1$ – единичный оператор, то

$$A^{-1}x(t) = A^{-1}A \langle u(t) \rangle, u(t) = A^{-1}x(t). \quad (2)$$

Таким образом, вид идеального \mathcal{U} регулятора может быть представлен в форме (2).

Задавая теперь траекторию $x(t) = x^*(t)$, находим из (2) идеальное значение $u^*(t)$. Основная проблема состоит в том, что в большинстве случаев операторы A и A^{-1} неизвестны. Поэтому встает вопрос о построении схемы управления, приближенной к идеальной. Непараметрический алгоритм дуального управления, подробно описанный в [5] имеет вид:

$$u_{s+1} = u_s^* + \Delta u_{s+1}, \quad (3)$$

где u_s^* – слагаемое, отвечающей за накопление информации об объекте;

$$\Delta u_{s+1} = \varepsilon(x_{s+1}^* - x_s) - \text{«изучающие» поисковые воздействия.}$$

В этом и состоит дуализм алгоритма (3). При параметрическом и непараметрическом уровне неопределенности, в условиях, когда структура объекта может быть частично параметризована в качестве модели процесса может быть принята следующая непараметрическая оценка функции регрессии по наблюдениям $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$

$$\hat{x}_t = \frac{\sum_{i=1}^s u_i \cdot \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{\tilde{n}_s}\right) \Phi\left(\frac{\mu_s - \mu_i}{\tilde{n}_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{\tilde{n}_s}\right) \cdot \dots \cdot \Phi\left(\frac{x_{s-m} - x_{i-m}}{\tilde{n}_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{\tilde{n}_s}\right) \Phi\left(\frac{\mu_s - \mu_i}{\tilde{n}_s}\right) \Phi\left(\frac{x_s - x_i}{\tilde{n}_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{\tilde{n}_s}\right) \cdot \dots \cdot \Phi\left(\frac{x_{s-m} - x_{i-m}}{\tilde{n}_s}\right)}, \quad (4)$$

где $\Phi(\cdot)$ – ядерная колоколообразная функция и коэффициент размытости ядра c_s удовлетворяют некоторым условиям сходимости [5, 6]. Если принять в качестве оператора A выражение (4), то обратным оператором будет является выражение (5):

$$u_s^* = \frac{\sum_{i=1}^s u_i \cdot \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{x_{s-j} - x_{i-j}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{\mu_s - \mu_j}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{x_{s-j} - x_{i-j}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{\mu_s - \mu_j}{c_s}\right)}, \quad (5)$$

где $\Phi(\cdot)$ ядерная колоколообразная функция вида $H(\cdot)$. Выражение (5) является слагаемым u_s^* из уравнения (3).

Проанализируем характер дуализма алгоритма (3). На начальной стадии управления основная роль принадлежит второму слагаемому Δu_{s+1} формулы (3). Это случай активного накопления информации в системе дуального управления, который начинается с появления первого наблюдения входной и выходной переменных объекта. По мере процесса обучения (накопления информации) всё возрастающую роль при формировании управляющего воздействия u_{s+1} начинает играть первое слагаемое, т.е. u_s^* . Таким образом, в процессе дуального управления объектом фигурируют как этап изучения объекта, так и этап приведения его к цели.

Численное исследование

Проверка работоспособности изложенных алгоритмов непараметрической идентификации и дуального управления осуществлялась методами статистического моделирования. Для вычислительного эксперимента был выбран объект, описываемый уравнением вида: $x_t = 0,2 \cdot x_{t-1} - 0,3 \cdot x_{t-2} + 0,4 \cdot x_{t-3} + u_t$, где x_t – выходная переменная процесса, u_t – входная переменная процесса.

Сравним результаты управления двухконтурной системы, содержащей непараметрический адаптивный регулятор (3) с системой управления, которая содержит только типовой регулятор, в качестве которого был выбран ПИ – регулятор. Объем выборки (u_i, μ_i, x_i) ра-

вен 100. Приведем работу двух систем управления при изменяющемся задающем воздействии (рисунок 3).

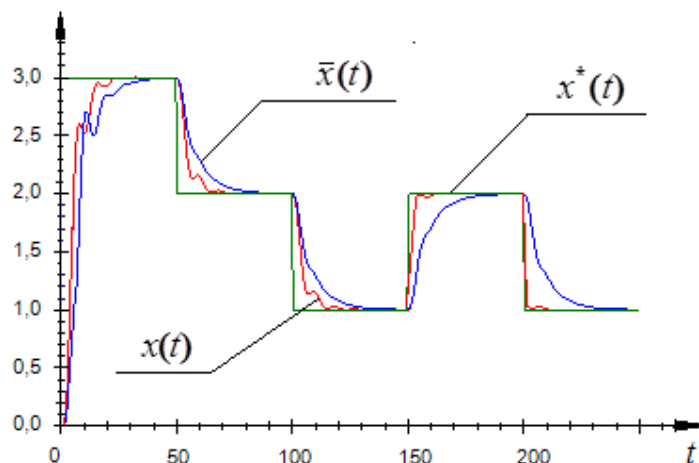


Рисунок 3 – Сравнение двухконтурной системы управления и системы, содержащей типовой ПИ-регулятор при задающем воздействии в виде ступенчатой функции

На рисунке 3 приняты следующие обозначения: $x(t)$ – значение выходной переменной объекта, при управлении двухконтурной системой, содержащей непараметрический адаптивный регулятор, $\bar{x}(t)$ – значение выходной переменной объекта, при управлении ПИ-регулятором, $x^*(t)$ – задающие воздействие. Ошибка регулирования в случае двухконтурной схемы равна 0,07, для ПИ-регулятора ошибка возрастает до 0,21. На рисунке 4 представлены графики задающих воздействий для ПИ-регулятора и задающие воздействие для двухконтурной схемы управления.

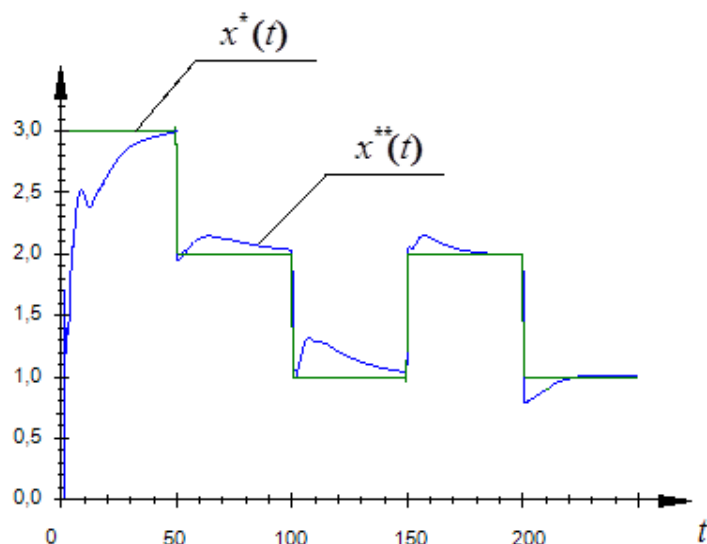


Рисунок 4 – Задающие воздействие для двухконтурной системы управления $x^*(t)$ и задающие воздействие для типового ПИ-регулятора $x^{**}(t)$ при задающем воздействии в виде ступенчатой функции

Как можно заметить из рисунка 4, при изменении задающего воздействия $x^*(t)$ для двухконтурной системы управления, непараметрический адаптивный регулятор изменяет

задающее воздействие $x^{**}(t)$, что позволяет типовому ПИ-регулятору быстрее достигать желаемого значения выходной переменной, что в конечном итоге приводит к уменьшению времени перерегулирования типового ПИ-регулятора.

Заключение

В настоящей статье рассматривается новый класс задач управления, ориентированных на управление динамическими процессами. Актуальность этой задачи обусловлена тем, что при управлении техническими процессами, типовые регуляторы сохраняются, но добавляется внешний контур управления, что существенно улучшает качество управления системы в целом.

Основное внимание уделяется построению непараметрической системы дуального управления. Обсуждается проблема дуализма при управлении динамическим процессом. Достаточно подробно изложены результаты вычислительного эксперимента. Показано, что введение внешнего контура позволяет повысить качество автоматического регулирования процессом.

Библиографический список

1. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. Москва. Изд. Физматгиз, 1963г. - 552с.
2. Wenk, C.J. Bar-Shalom, Y. A multiple model adaptive dual control algorithm for stochastic systems with unknown parameters // Automatic Control. Volume:25 Issue:4
3. Duan Lia, Fucai Qianb, Peilin Fuc, Optimal nominal dual control for discrete-time linear-quadratic Gaussian problems with unknown parameters // Automatica Volume 44, Issue 1, January 2008, Pages 119–127
4. Tse, E. Bar-Shalom, Y. An actively adaptive control for linear systems with random parameters via the dual control approach // Automatic Control Volume:18 Issue:2
5. Медведев А.В. Основы адаптивных систем. Изд.: СибГАУ, 2015
6. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 4–9.

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ДУАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Корнеева А.А.

*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

Введение. Для различных отраслей промышленности типичными являются последовательная, параллельная или последовательно-параллельная схема производства. В некоторых случаях производственный процесс охвачен перекрестными связями, что часто приводит к нелинейным системам. Таким образом, речь идет не о каком-то локально объекте (плавильная печь, энергоблок, обжиговая печь, измельчительный агрегат и т.д.), а о группе объектов.

Конечно же, важным как и вообще в теории идентификации и управления, является объем априорной информации о различных каналах объектов. Не менее важными являются также и средства контроля соответствующих объектов. В зависимости от этого даются и соответствующие математические постановки задач идентификации и управления, которые для различных разрезов технологического процесса могут оказаться существенно отличающимися. В дальнейшем делается акцент на формулировку вышеназванных задач в условиях как параметрической, так и непараметрической неопределенности. В первом случае, как известно [1], необходимо представление модели объекта с точностью до вектора пара-

метров с дальнейшей их оценкой по мере поступления текущей информации. Во втором случае можно ограничиться лишь качественными свойствами исследуемого процесса с последующей оценкой оператора объекта (чаще всего интегральных), по результатам выборки наблюдений [2].

Постановка задачи. Рассмотрим следующую схему технологического процесса (рисунок 1), которая достаточно часто встречается на практике:

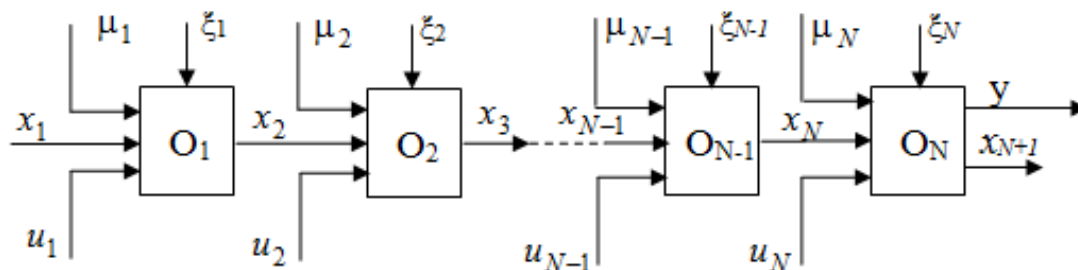


Рисунок 1 – Общая схема технологического процесса

Здесь приняты следующие обозначения: $O_i, i = \overline{1, N}$ – технологические объекты; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ – это характеристики, определяющие состав исходного продукта x_1 и полуфабрикатов x_2, \dots, x_N , поступающих на вход технологических объектов; $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$ – всевозможные добавки, поступающие на входы объектов; $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$ – управляющие воздействия, $\boldsymbol{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$ – внешние помехи, действующие объекты технологической цепочки. Как видно из рисунка, технологический процесс представляет собой последовательность локальных объектов. Последний объект технологической цепочки O_N имеет две выходные переменные. Первая из них y – это параметр, характеризующий качество готового продукта (изделия). Особенностью здесь является то, что параметр y измеряется через значительные промежутки времени и поэтому не может быть использован при управлении процессом. Выходная переменная x_{N+1} – это переменная, косвенно характеризующая готовый продукт, но контролируемая через значительно меньший промежуток времени по сравнению с переменной y . В этом случае управление процессом осуществляется исходя из результатов измерений переменной x_{N+1} .

В общем случае все описанные переменные представляют собой векторы. Для простоты рассмотрим скалярный случай. Характеристики выходных переменных x могут быть представлены в виде следующей зависимости:

$$x_{i+1}(t) = f(x_i(t - \tau), u_i(t - \tau), \mu_i(t - \tau), \xi_i(t - \tau)), i = \overline{1, N-1}, \quad (1)$$

где τ – запаздывание, которое по разным каналам связи может отличаться, но из соображений простоты в тексте мы приняли единое обозначение запаздывания τ .

Для всякого технологического процесса на производстве установлен технологический регламент, который определяет, в каком диапазоне значений должна находиться величина той или иной переменной процесса. Если значение данного параметра оказывается за пределами этого диапазона, то такое положение классифицируется как брак. Для многих производств характерен довольно широкий диапазон изменения значений технологических переменных [3]. Как следствие этого, часто имеет место факт получения брака при соблюдении технологического регламента. Рассмотрим нижеследующую схему (рисунок 2):

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: $x_i, i = \overline{1, N}$ – входные и промежуточные переменные процесса; $a_i^{\min}, a_i^{\max}, i = \overline{1, N}$ – минимальная и максимальная границы диапазона допустимых значений переменных, определяемые технологическим регламентом; $l_i, i = \overline{1, N}$ – желаемая область значения переменных; y – выходная переменная всего

технологического процесса, определяющая качество готового продукта; a_y^{\min} , a_y^{\max} – границы допустимых значений переменной y , определяемые технологическим регламентом; l_y – требуемая область значения y .

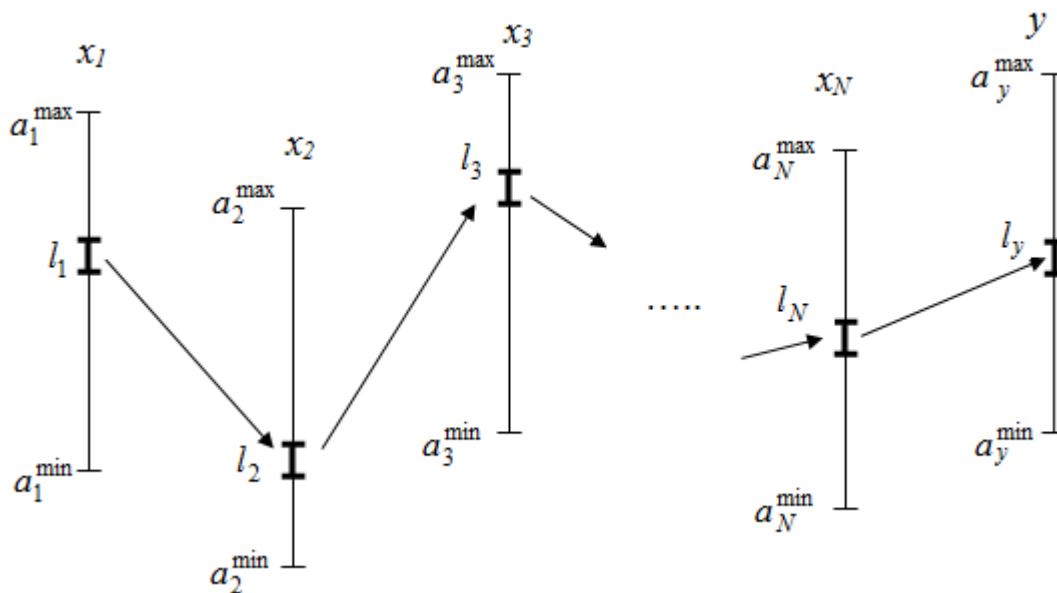


Рисунок 2 – Диапазоны значений переменных процесса, определяемые технологическим регламентом

Пусть параметр x_1 (например, температура) принял определенное значение из области $l_1 \in [a_1^{\min}; a_1^{\max}]$. Это значение может задаваться исходя, например, из качества продукта, поступившего на обработку. Заметим, что область l_1 много меньше всего интервала $[a_1^{\min}; a_1^{\max}]$. При этом параметр x_2 (к примеру, давление), статистически зависимый от показателя x_1 , также принимает определенное значение из области $l_2 \in [a_2^{\min}; a_2^{\max}]$. Подобная ситуация происходит и для всех остальных переменных x_i , $i = \overline{1, N}$, соответствующих своему локальному объекту, а также для переменной процесса y .

На основании этого, можно заключить, что для рационального ведения процесса необходимо для каждого показателя x_i определить область $l_i \in [a_i^{\min}; a_i^{\max}]$ исходя из значений x_{i-1} , где $i = \overline{2, N}$. Область значения показателей x определяется границами технологического регламента. Представляется целесообразным осуществление технологического процесса проводить в соответствии со следующей схемой: если на i -ом переделе получены значения переменных, принадлежащих интервалу l_i , то на $(i + 1)$ -ом наиболее целесообразно, чтобы соответствующие технологические переменные принадлежали не всему интервалу $[a_{i+1}^{\min}; a_{i+1}^{\max}]$, а его подобласти $l_{i+1} \in [a_{i+1}^{\min}; a_{i+1}^{\max}]$.

Для различных современных производств характерно, что диапазон значений технологических переменных достаточно широк во всех сечениях технологического процесса, хотя и соответствует технологическому регламенту. Поэтому возникает задача, связанная с оптимизацией технологического процесса в рамках технологического регламента. Это приведет к уменьшению диапазонов значений параметров на каждом переделе, что повысит качество выпускаемой продукции и позволит избежать ситуаций, связанных с браком.

Изложенная ситуация типична для многих, если не сказать для большинства, наших производств. Здесь возможны два пути, описанные в [3]: «Первый из них состоит в том, чтобы разработать на основе исследований, проведенных для каждого конкретного пред-

приятия, более жесткий технологический регламент и, естественно, ему следовать ... Второй путь состоит в том, чтобы следовать имеющемуся технологическому регламенту, но оптимизировать режим ведения процесса в данном технологическом объекте с учетом фактически проведенной технологической операции на предыдущем объекте».

Реализовать жесткий технологический регламент возможно только на предприятиях с достаточно высоким уровнем культуры производства. Второй путь значительно более реалистичен, поскольку не требует капитальных затрат на реконструкцию с одной стороны, а с другой – позволяет существенно повысить качество выпускаемой продукции и уменьшить потери при производстве тех или иных изделий.

Идентификация и управление объектами технологической цепочки. В зависимости от уровня априорной информации об объекте исследования выделяют методы идентификации в «узком» и «широком» смысле [4], иначе говоря, методы параметрической [1] и непараметрической [5] идентификации.

Методы параметрической идентификации предполагают значительный объем априорных сведений об исследуемом объекте, позволяющий обоснованно выбрать структуру параметрической модели, и соответственно, построить ее. Например, для технологического объекта O_2 параметрическую модель можно записать следующим образом:

$$\hat{x}_2^\alpha = A_1^\alpha(x_1, u_1, \mu_1, \alpha_1), \quad (2)$$

где A_2^α – параметрическая структура для локального объекта O_2 , α_1 – вектор параметров.

Структура A определяется для каждого локального объекта индивидуально. Модель (2) в общем случае можно переписать для произвольного объекта $O_{(i+1)}$ в виде:

$$\hat{x}_{i+1}^\alpha = A_i^\alpha(x_i, u_i, \mu_i, \alpha), \quad i = \overline{1, N-1}. \quad (3)$$

В условиях недостатка априорной информации целесообразно использовать методы непараметрической идентификации. В этом случае непараметрическая модель локального объекта O_2 будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{x}_2^s = \frac{\sum_{i=1}^s x_2 \Phi\left(\frac{x_1 - x_1^i}{c_s^{x_1}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_1 - \mu_1^i}{c_s^{\mu_1}}\right) \Phi\left(\frac{u_1 - u_1^i}{c_s^{u_1}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_1 - x_1^i}{c_s^{x_1}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_1 - \mu_1^i}{c_s^{\mu_1}}\right) \Phi\left(\frac{u_1 - u_1^i}{c_s^{u_1}}\right)}, \quad (4)$$

где $\Phi(\cdot)$ – ядерная колоколообразная функция, c_s – коэффициент размытости ядра, соответствующий каждой переменной объекта, s – объем выборки наблюдений. Ядерная функция и коэффициент размытости ядра удовлетворяют некоторым условиям сходимости [9].

В общем виде модель (4) можно переписать в виде:

$$\hat{x}_{j+1}^s = \frac{\sum_{i=1}^s x_j \Phi\left(\frac{x_j - x_j^i}{c_s^{x_j}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_j^i}{c_s^{\mu_j}}\right) \Phi\left(\frac{u_j - u_j^i}{c_s^{u_j}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_j - x_j^i}{c_s^{x_j}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_j^i}{c_s^{\mu_j}}\right) \Phi\left(\frac{u_j - u_j^i}{c_s^{u_j}}\right)}, \quad j = \overline{N-1}. \quad (5)$$

Как было сказано ранее, мы можем обладать различными объемами априорной информации о каждом локальном объекте технологической цепочки. В одних случаях этого объема будет достаточно для построения параметрической модели типа (3). В других случаях необходимо применять методы идентификации в «широком» смысле (5). Таким обра-

зом, система моделей, описывающая поведение всего технологического процесса, будет представлять собой синтез параметрических и непараметрических алгоритмов.

Для управления последовательным технологическим процессом на практике достаточно часто применяют следующую схему управления, представленную на рисунке 3.

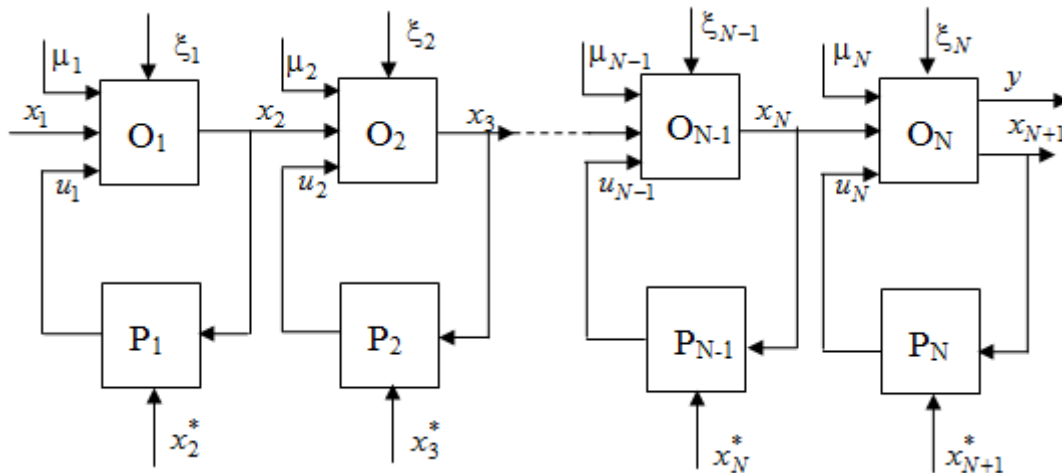


Рисунок 3 – Существующая схема управления последовательным технологическим процессом

Здесь O – локальные технологические объекты, P – регуляторы, x_i^* , $i = \overline{1, N+1}$ – задающие воздействия, определяемые оператором. Следует заметить, что некоторые компоненты вектора y в сущности являются настолько важными, что определяют стоимость полученного продукта при его реализации. Как видно из вышеприведенной схемы, управление не ведется по выходной переменной y , что связано с длительным временем ее измерения. Недостатком подобной схемы является трудность определения задающих воздействий. На практике чаще всего они достаточно редко меняются, и это изменение находится в полном ведении оператора, который осуществляет эту операцию исходя из имеющегося опыта, конечно же, соблюдая технологический регламент.

Постановка задачи управления во многом зависит от уровня имеющейся априорной информации [6]. Существенный интерес представляет развитие теории дуального управления в условиях малой априорной информации, при которой управляющие воздействия используются не только для приведения объекта к желаемому состоянию, но и для его изучения. Рассмотрим непараметрический алгоритм дуального управления для отдельно взятого локального объекта описанной технологической цепочки, например, для объекта O_2 . Управляющее воздействие в этом случае формируется по следующему закону

$$u_{s+1}^2 = u_{s+1}^{2*} + \Delta u_{s+1}^2, \quad (6)$$

где u_{s+1}^{2*} представляет собой компоненту, отвечающую за обучение алгоритма, а Δu_{s+1}^2 – «поисковый» шаг. Дуализм данного алгоритма состоит в том, что компонента u_{s+1}^{2*} содержит в себе «знания» об объекте, а компонента Δu_{s+1}^2 – изучающие «поисковые» шаги [7]. В общем случае формулу (6) можно записать как:

$$u_{s+1}^i = u_s^{i*} + \Delta u_{s+1}^i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Компонента u_s^{2*} находится с использованием непараметрической оценки функции регрессии по наблюдениям и имеет вид (для объекта O_2):

$$u_s^{(2)*} = \frac{\sum_{i=1}^s u_1^i \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(3)*} - x_i^{(3)}}{c_s^{x_3}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{s+1}^{(2)} - \mu_i^{(2)}}{c_s^{\mu_2}}\right) \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(2)} - x_i^{(2)}}{c_s^{x_2}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(3)*} - x_i^{(3)}}{c_s^{x_3}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{s+1}^{(2)} - \mu_i^{(2)}}{c_s^{\mu_2}}\right) \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(2)} - x_i^{(2)}}{c_s^{x_2}}\right)}, \quad (8)$$

где $\Phi(\cdot)$ – ядерная колоколообразная функция, c_s – соответствующие коэффициенты размытости ядра. И ядерная функция, и коэффициенты размытости ядра удовлетворяют некоторым условиям [5]. В общем случае формула (8) имеет вид:

$$u_s^{(i)*} = \frac{\sum_{i=1}^s u_1^i \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(j+1)*} - x_i^{(j+1)}}{c_s^{x_{j+1}}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{s+1}^{(j)} - \mu_i^{(j)}}{c_s^{\mu_j}}\right) \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_s^{x_j}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(j+1)*} - x_i^{(j+1)}}{c_s^{x_{j+1}}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{s+1}^{(j)} - \mu_i^{(j)}}{c_s^{\mu_j}}\right) \Phi\left(\frac{x_{s+1}^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_s^{x_j}}\right)}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (9)$$

Второе слагаемое в формуле (6) Δu_{s+1}^2 – «поисковый» шаг, который рассчитывается следующим образом:

$$\Delta u_{s+1}^2 = \gamma(x_{s+1}^{(3)*} - x_s^3), \quad (10)$$

где γ – некоторый коэффициент.

В более общем виде формулу (10) можно записать следующим образом:

$$\Delta u_{s+1}^i = \gamma(x_{s+1}^{(i+1)*} - x_s^{i+1}), \quad i = \overline{1, N}. \quad (11)$$

Результаты исследования данного непараметрического алгоритма дуального управления были приведены в [7].

Заключение. Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что в докладе рассматриваются задачи идентификации и управления технологическим процессом, который представляет собой цепочку локальных объектов. Подобный характер технологических процессов является типичным не только для аэрокосмической отрасли, но и также имеет место в металлургии, энергетике, нефтепереработке и т.д. Поставлена задача управления внутри технологического регламента. Приведена некоторая алгоритмическая основа построения моделей и алгоритмов управления локальными объектами в условиях как параметрической, так и непараметрической неопределенности.

Библиографический список

1. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 400с.
2. Медведев А.В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск: Наука, 1983. 173с.
3. Медведев А.В. Информатизация управления: учебное пособие. Красноярск: САА, 1995. – 80 с.
4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 681 с.
5. Надарая Э.А. Непараметрическое оценивание плотности вероятностей и кривой регрессии. Издательство Тбилисского университета, 1983. 194 с.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем управления / под редакцией К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Москва: МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2004. 656 с.
7. Корнеева А.А., Медведев А.В. Непараметрическое дуальное управление безынерционными системами // Кибернетика и высокие технологии XXI века: труды XIII международной научно-технической конференции, г.Воронеж. 2013. С. 250-261.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С РЕЦИКЛОМ¹

Циряпкина А.В.¹, Ивушкин А.А.², Мышляев Л.П.¹, Ивушкин К.А.²

¹ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

²ОК «Сибшахтострой»,

г. Новокузнецк, Россия

В настоящее время управлению объектами с рециклом уделяется все больше внимания, так как именно такие объекты в большей мере удовлетворяют современным технологическим, экологическим и экономическим требованиям [1 – 5]. Основная часть работ по этой тематике посвящена только построению систем регулирования одним классом объектов с рециклом – рециклом «по концентрации» – без детального анализа их эффективности [6 – 9]. В [10, 11] описаны численные исследования системы автоматического регулирования объекта с рециклом «по концентрации». В настоящем сообщении представлена оценка эффективности САР объектов с рециклом «по массе» и «по параметрам».

В общем виде модель возмущенного движения объекта с рециклом может быть представлена выражениями [12]:

$$\dot{X}(t) = A(t) \cdot X(t - \tau_x) + B(t) \cdot U(t - \tau_u) + C(t) \cdot W(t - \tau_w),$$

$$Y(t) = D(t) \cdot Y(t - \tau_y) + F(t) \cdot E(t - \tau_e),$$

где X, U, W, Y, E – векторы состояний, управления, внешних воздействий, выходов и погрешностей измерений; $\tau_x, \tau_u, \tau_w, \tau_y, \tau_e$ – соответствующие времена запаздывания; $A(t), B(t), C(t), D(t), F(t)$ – матрицы соответствующих размерностей; t – непрерывное время.

Для объектов с рециклом предложена классификация.

1) Объекты с рециклом «по концентрации» [12], когда все расходы материала фиксированы, а концентрация элементов (температура и др.) материала изменяется. В этом случае матрица $A(t)$ не зависит от состояния $X(t)$ и $D(t) = 1$.

2) Объекты с рециклом «по массе», когда за выходное воздействие принимается часть материала (готовой продукции), поступающей на выход объекта, а другая часть материала поступает в цепь рецикла. Соотношение этих частей может изменяться в зависимости от внешних условий, состояний, агрегатов и т.д. и, как правило, специально не контролируется. В этом случае матрица $A(t)$ не зависит от состояния $X(t)$ и $D(t) \neq 1$.

3) Объекты, в которых рецикл влияет на параметры отдельных их составляющих – рецикл «по параметрам». В этом случае матрицы $B(t)$ и $C(t)$ зависят от состояния $X(t)$.

4) Комбинированные объекты с рециклом, объединяющие первые три класса.

Постановка задачи № 1. Анализ влияния соотношения времени запаздывания в прямой цепи и цепи рецикла для САР объекта с рециклом «по массе».

Дано

1. Структура САР для объектов с рециклом «по массе» с типовым законом f регулирования (рисунок 1, а) и с модельной компенсацией цепи рецикла (рисунок 1, б).

2. Операторы САР

$$\varphi_0(S) = \varphi_0^M(S) = \frac{k_0}{T_0 S + 1}, \quad \varphi_r(S) = \varphi_r^M(S) = \frac{k_r}{T_r S + 1},$$

где k_0, k_r – коэффициенты передачи;

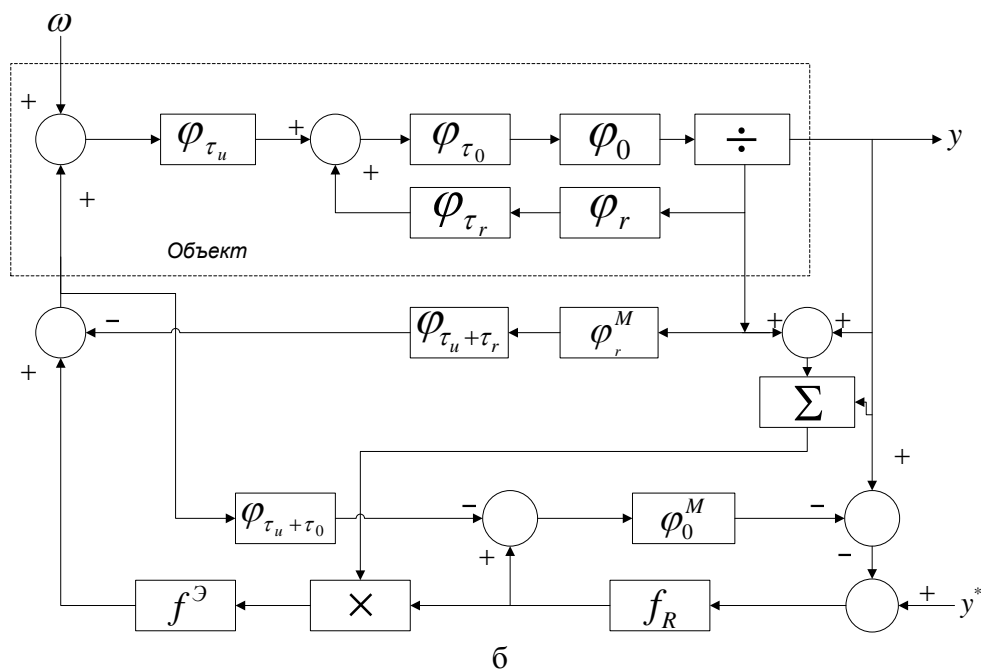
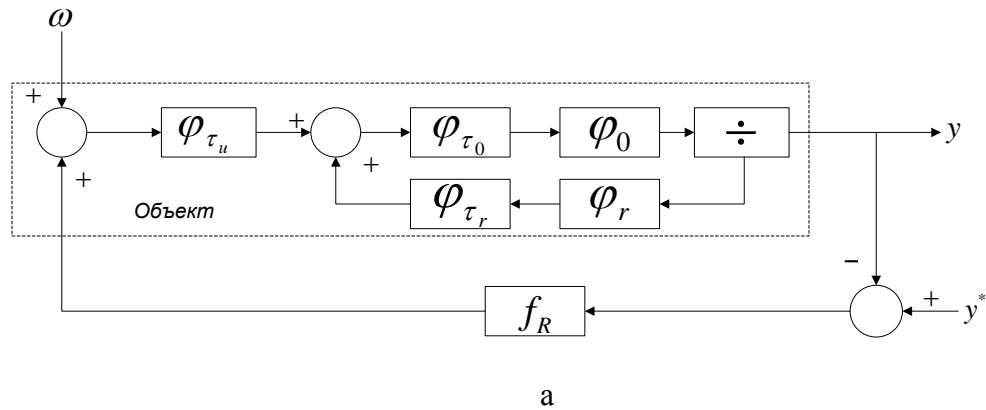
T_0, T_r – постоянные времени;

$f(S)$ – пропорционально-интегральный закон регулирования;

$f^3(S)$ – оператор «сдвигки».

¹ Работа поддержана грантом РФФИ по проекту № 15-07-02231.

3. Значения блока деления объекта управления: $\alpha = 0,6$
4. Вариации отношения τ_r/τ_0 в диапазоне $[1; 45]$.
5. Критерий эффективности САР: $q(t) = \frac{1}{T} \int_{t-1}^T |y^*(\theta) - y(\theta)| d\theta$, где T – время переходного процесса.



w, y, y^* - возмущающее, выходное и задающее воздействие; $\varphi_0, \varphi_r, \varphi_{\tau_0}, \varphi_{\tau_r}$ - операторы объекта без учета запаздывания, запаздывания и цепи рецикла; $f^Э, f$ - операторы экстраполяции и закона регулирования; \div - блок делителя α ; \times - блок умножения; индексы означают: "М" – модельный; " τ_0 ", " τ_r ", " τ_u " - время запаздывания в прямой цепи объекта, в цепи рецикла и в управлении

Рисунок 1 – Структура САР для объекта с рециклом «по массе»

Требуется: определить область эффективной работы обоих САР.

Переход от операторов $\varphi_0, \varphi_r, \varphi_{\tau_u}, \varphi_{\tau_0}, \varphi_{\tau_r}$ к рекуррентно-разностной форме сделан методом конечных разностей. Программирование осуществлено в системе Microsoft Office Excel.

Результаты численных исследований при вариации соотношений τ_r/τ_0 для САР объекта с рециклом «по массе» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерий эффективности для САР с модельной компенсацией цепи рецикла и с типовым законом регулирования для объекта с рециклом «по массе»

| Соотношение τ_r/τ_0 | Критерий эффективности | |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|
| | САР с модельной компенсацией цепи рецикла | САР с типовым законом регулирования |
| 1 | 2,22 | 3,84 |
| 5 | 2,48 | 3,97 |
| 10 | 2,59 | 4,62 |
| 15 | 2,99 | 5,27 |
| 20 | 3,19 | 5,42 |
| 25 | 3,65 | 5,82 |
| 30 | 4,40 | 6,20 |
| 35 | 4,87 | 6,52 |
| 40 | 5,28 | 6,79 |
| 45 | 5,70 | 7,04 |

Из таблицы 1 следуют выводы.

1. САР с модельной компенсацией цепи рецикла и САР с типовым законом регулирования для объектов с рециклом «по массе» устойчивы при любых соотношениях $\tau_r/\tau_0 \in [1; 45]$;

2. Во всем исследуемом диапазоне соотношений τ_r/τ_0 САР с компенсацией контура рецикла превосходит по среднемодульному критерию САР с типовым законом регулирования не менее чем на 40 %.

3. Во всем исследуемом диапазоне соотношений τ_r/τ_0 время переходного процесса САР с компенсацией контура рецикла меньше времени переходного процесса САР с типовым законом регулирования не менее, чем в 3 раза.

Для примера на рисунке 2 приведены переходные процессы САР для различных соотношений τ_r/τ_0 для объектов с рециклом «по массе».

Постановка задачи №2. Анализ эффективности САР объекта с рециклом «по параметрам»

Дано

1. Структура алгоритма САР объектов с рециклом «по параметрам» с контурами координатно-параметрического управления и адаптации параметров модели (рисунок 3).

2. Операторы САР

$$\varphi_o(S) = \frac{k_o}{T_o S + 1}; \varphi_o^M(S) = \frac{k_o^M}{T_o^M S + 1}; \varphi_r(S) = \frac{k_r}{T_r S + 1}; \varphi_r^M(S) = \frac{k_r^M}{T_r^M S + 1},$$

где k_o, k_r – коэффициенты передачи натурального объекта;

T_o, T_r – постоянные времени натурального объекта;

k_o^M, k_r^M – коэффициенты передачи модели;

T_o^M, T_r^M – постоянные времени модели;

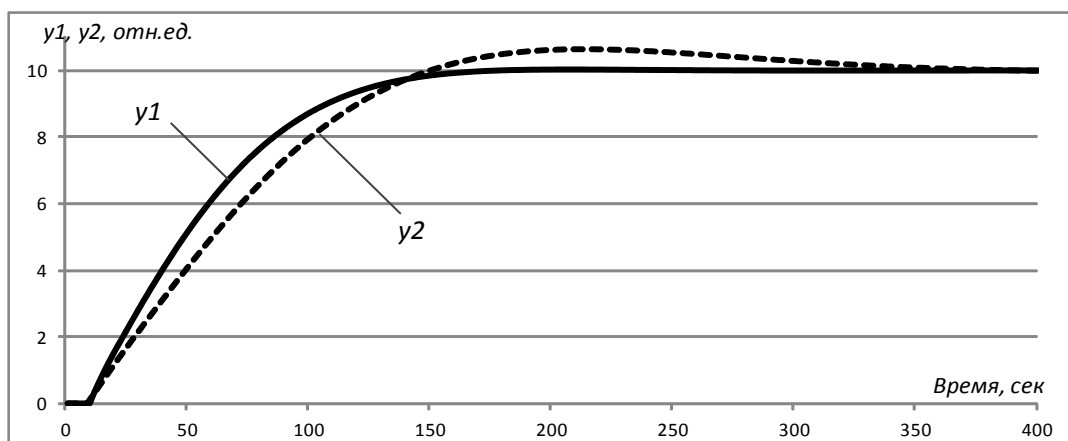
$f_{R1}(S), f_{R2}(S)$ – пропорционально-интегральный закон регулирования;

$f^3(S)$ – оператор «сдвигки»;

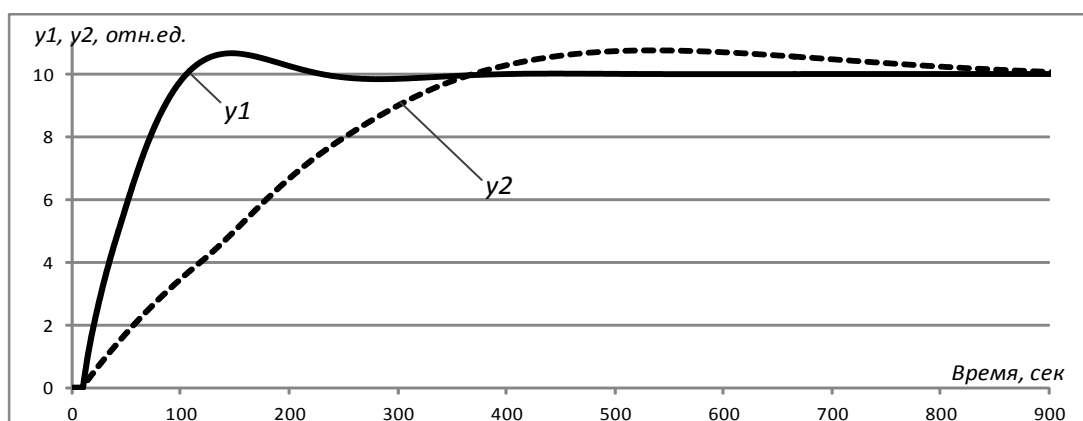
$f_\Phi(S)$ – экспоненциальный сглаживатель.

3. Ограничения на величину входного воздействия $u_2 \in (0; 100)$, влияющего на значение блока деления.

4. Критерий эффективности САР: $q(t) = \frac{1}{T} \int_{t-1}^T |y^*(\theta) - y(\theta)| d\theta$, где T – время переходного процесса.



а



б

$$а - \tau_r/\tau_0 = 1; \quad б - \tau_r/\tau_0 = 20$$

Рисунок 2 – Переходные процессы в САР с модельной компенсацией цепи рецикла y_1 и с типовым законом регулирования y_2 для объекта рециклом «по массе»

Требуется: определить область эффективной работы обоих САР объектов с рециклом «по параметрам».

Работа систем иллюстрируется графиками переходных процессов под влиянием внешних ступенчатых воздействий по задающему входу $y^*(t)$ и по возмущающему $\omega(t)$. Сопоставляются САР с типовым законом регулирования и три варианта структуры САР с введенными дополнительными контурами.

Вариант 1. При работе системы задействован только контур координатного управления. Контур параметрического управления выключен и положение делителя потока не меняется, т.е. $\alpha(t) = \alpha^* = const$. Блок адаптации выключен и коэффициенты моделей канала преобразований координатных управляющих воздействий и первого регулирующего блока, используемые в контуре координатного управления, не корректируются.

Вариант 2. При работе системы задействованы как контур координатного управления, так и контур параметрического управления. Блок адаптации выключен и коэффициенты моделей канала преобразований координатных управляющих воздействий и первого регулирующего блока, используемые в контуре координатного управления не корректируются.

Вариант 3. При работе системы задействованы контуры координатного управления и параметрического управления. В блоке адаптации выполняется корректировка текущих значений коэффициентов моделей канала преобразований координатных управляющих воздействий и первого регулирующего блока, используемые в контуре координатного управления, в соответствии с изменениями $Q_r(t)$ под влиянием изменений $\alpha(t)$.

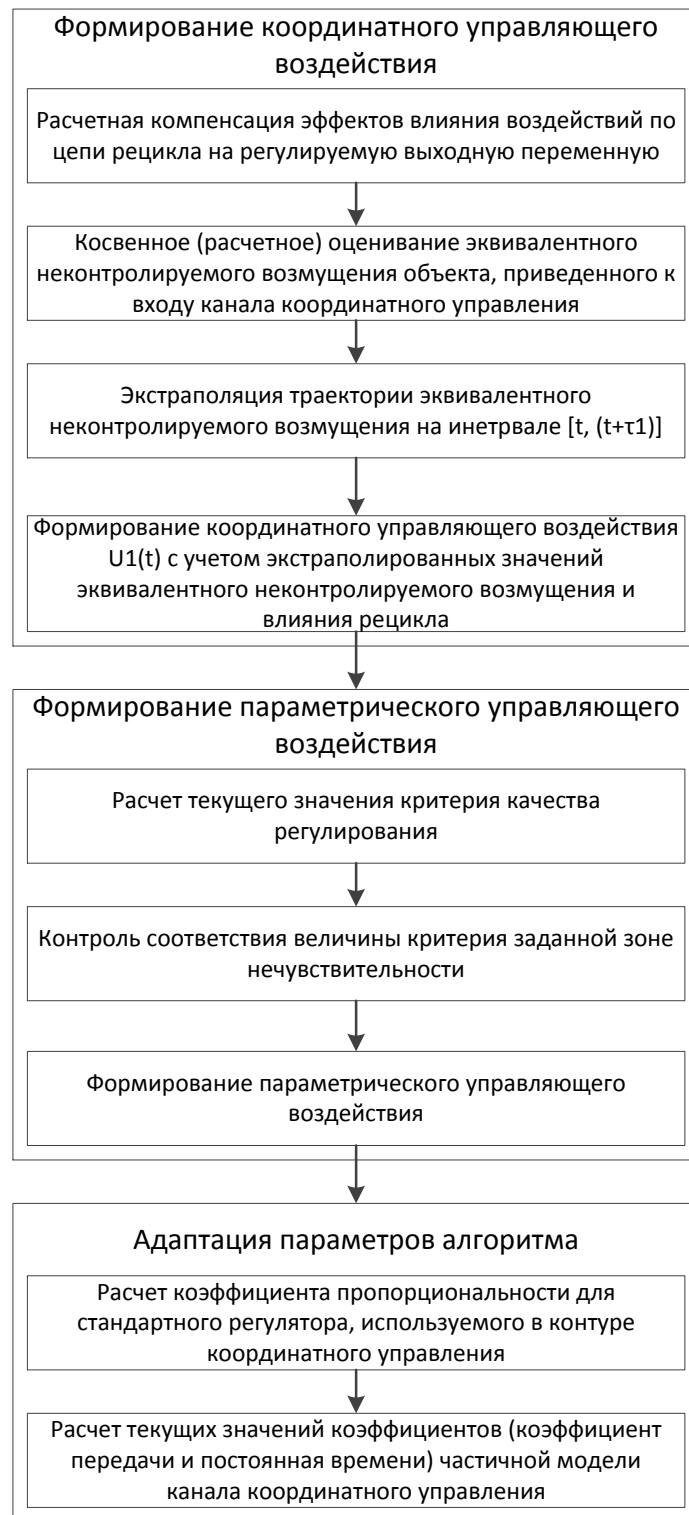


Рисунок 3 – Структура алгоритма САР объекта с рециклом «по параметрам»

На рисунке 4 приведены переходные процессы для САР объекта с рециклом «по параметрам» с дополнительными контурами (вариант 1 – y_1 , вариант 2 – y_2 , вариант 3 – y_3) и для САР с типовым законом регулирования (y_4) под влиянием внешних ступенчатых воздействий по задающему входу $y^*(t)$, на рисунке 5 приведены эти же переходные процессы под влиянием внешних ступенчатых воздействий по возмущающему входу $\omega(t)$.

Сопоставление величины среднемодульной ошибки регулирования для рассмотренных вариантов испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сопоставление величины среднемодульной ошибки

| Вариант структуры системы | Среднемодульная ошибка регулирования, отн.ед. | |
|---------------------------|---|---|
| | Внешнее воздействие по задающему входу | Внешнее воздействие по возмущающему входу |
| Вариант 1 | 5,44 | 5,94 |
| Вариант 2 | 4,50 | 4,50 |
| Вариант 3 | 4,06 | 4,07 |
| САР с ПИ-регулятором | 9,4 | 13,98 |

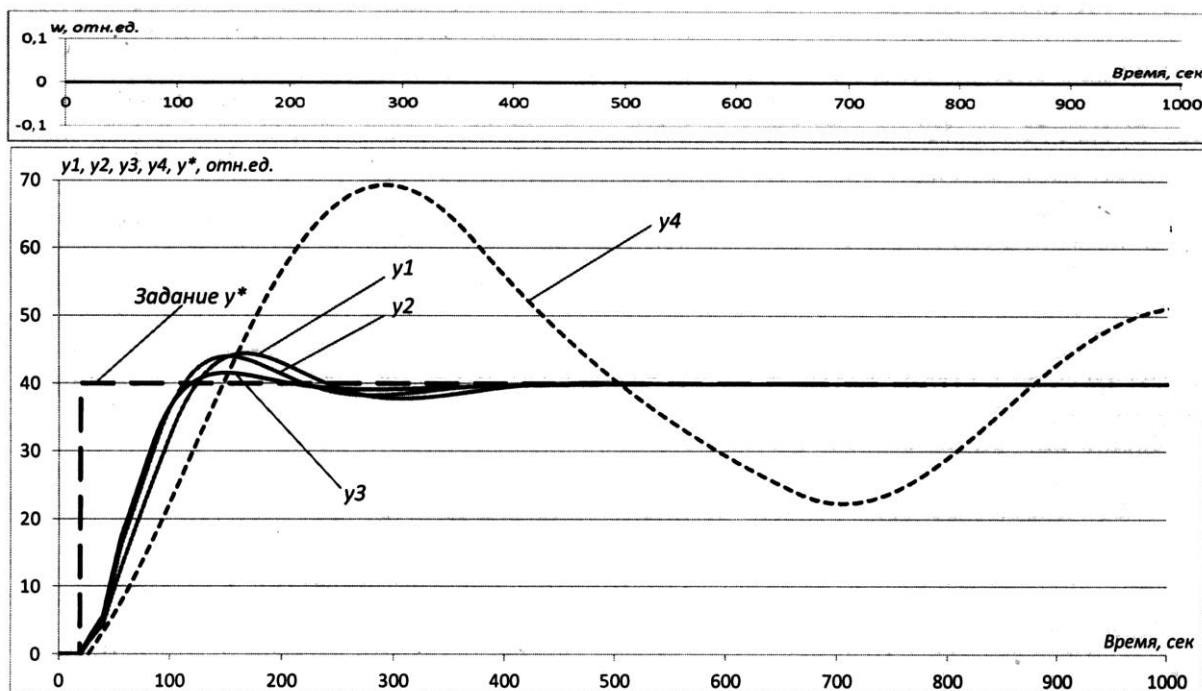


Рисунок 5 – Переходные процессы САР объекта с рециклом «по параметрам» при $y^* = 40$

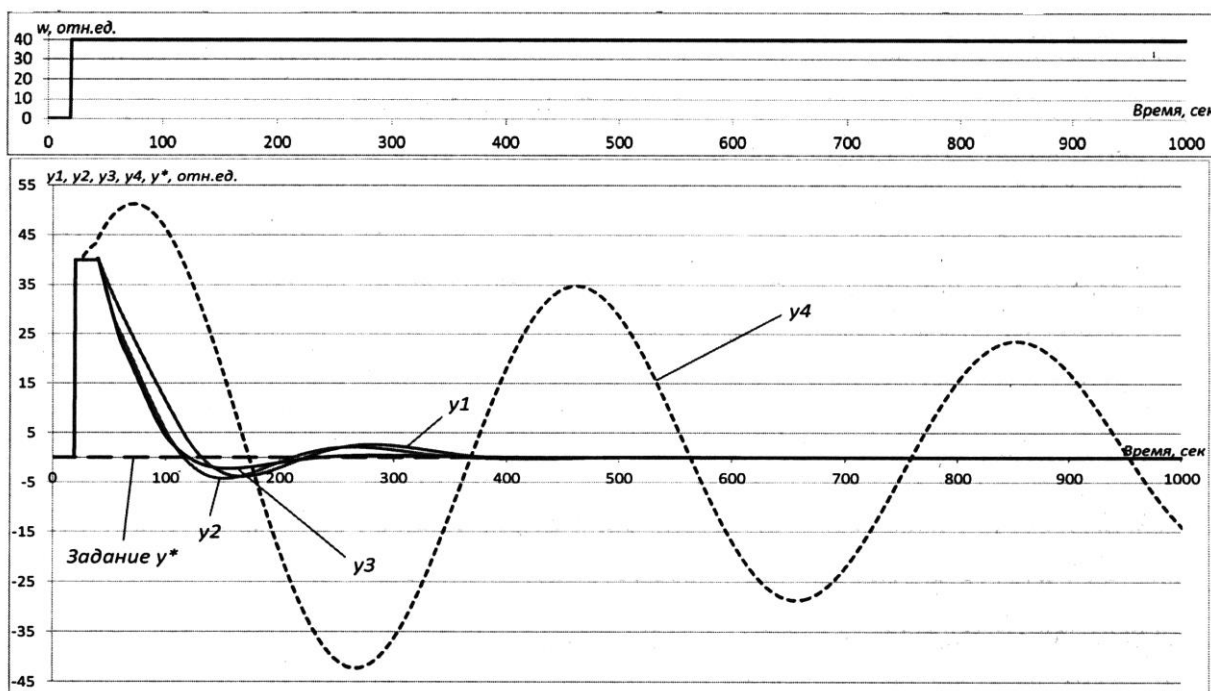


Рисунок 6 – Переходные процессы САР объекта с рециклом «по параметрам» при $\omega = 40$

Из графиков видно, что система регулирования с типовым ПИ-регулятором (вариант 4) значительно уступает по эффективности системам с контурами координатного и параметрического управления: время переходного процесса составляет порядка 3000 секунд для системы с ПИ-регулятором, что практически в 10 раз больше этого же показателя для остальных исследуемых вариантов. С введением дополнительных контуров процесс становится апериодическим, что так же положительно влияет на показатели качества регулирования.

Введение в действие контура параметрического управления (вариант 2) в дополнение к контуру координатного управления (вариант 1) обеспечивает уменьшение длительности переходных процессов и снижение величины динамического отклонения регулируемой выходной переменной от задания под влиянием управляющих воздействий. Введение в действие блока адаптации и выполнение корректировки текущих значений коэффициентов моделей канала преобразований координатных управляющих воздействий и первого регулирующего блока, используемых в контуре координатного управления (вариант 3), приводит к дополнительному уменьшению длительности переходных процессов и величины динамического отклонения регулируемой выходной переменной.

По результатам исследований можно сделать выводы: введение в систему контура параметрического управления в дополнение к контуру координатного управления с корректировкой текущих значений коэффициентов моделей регулирующего блока, используемых в контуре координатного управления, приводит к улучшению качества регулирования не менее чем на 25 %.

Библиографический список

1. Утеуш Э.В. Управление измельчительными агрегатами / Э.В. Утеуш, З.В. Утеуш. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
2. Хайниш С.В. Об оптимальном управлении объектами с замкнутым циклом // Сб. «Управление сложными системами». – М.: ИАТ, 1974.
3. Нагиев М.Ф. Теоретические основы рециркуляционных процессов в химии. – М.: Наука, 1962.
4. Янушевский Р.Т. Управление объектами с запаздыванием / Р.Т. Янушевский. – Москва «Наука». – 1978. – 416 с.
5. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х т. Т.2: Системы автоматизации производственного назначения / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, Г.П. Сазыкин и др.; Под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – С. 483.
6. Дылевский А.В., Лозгачев Г.И. Построение регулятора для объекта с распределенными параметрами по передаточной функции замкнутой системы // Вестник ВГУ. Серия физика, математика. № 2. 2004. С. 154 – 157.
7. Дылевский А.В., Лозгачев Г.И., Малютина В.С. Синтез модального регулятора для объекта с распределенными параметрами, Вестник ВГУ, 2007, №1, с. 128-132.
8. Li Yi, Ko King-Tim, Chen Guanrong A Smith predictor based PI-controller for active queue management / IEICE Transactions on communications. – Oxford University Press, 2005. - № 11. – P. 42-93.
9. Еремин Е.Л., Лелянов Б.Н., Шеленок Е.А. Дискретные алгоритмы робастного управления нелинейно-нестационарным объектом в периодических режимах/Вестник ТОГУ. – 2010. - №1(16). – с.45-54.
10. Циряпкина А.В. Численное исследование САР объектов с рециклом / А.В. Циряпкина, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер // Труды Всероссийской научно-практической конференции СибГИУ «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество». – 2010.
11. Циряпкина А.В. К вопросу об управлении объектами с рециклом / А.В. Циряпкина, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер // Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» AS'2011. – 2011. - С. 137-142.
12. Рей У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей. – М.: Мир, 1983. – 368 с.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СМЕСИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Токарев С.В., Симилова А.А., Федосенков Д.Б., Федосенков Б.А.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Рассмотрим процесс создания векторно-матричной модели наблюдающего устройства, используемой для идентификации текущего состояния смесеприготовительного агрегата.

Для моделирования смесеприготовительного агрегата в пространстве состояний, на основе операторных функций звеньев составлена система дифференциальных уравнений, далее преобразованная в систему дифференциальных уравнений состояния первого порядка, записанных в нормальной форме Коши. Сформировано также линейное алгебраическое уравнение выхода, выражающее выходной сигнал системы через комбинацию переменных состояния и управления. При этом первая переменная состояния полагается равной выходной переменной, а производные первого и выше порядков записываются в виде фазовых переменных состояния. Имеющееся в системе транспортное запаздывание аппроксимируется полиномиально-степенной дробью Паде, либо емкостным запаздыванием, возникающим в цепочке из десяти аperiодических звеньев. Представляя наборы переменных в виде векторов, а множество параметров в виде соответствующих матриц, в результате получаем векторно-матричную модель смесеприготовительного агрегата в пространстве состояний в форме

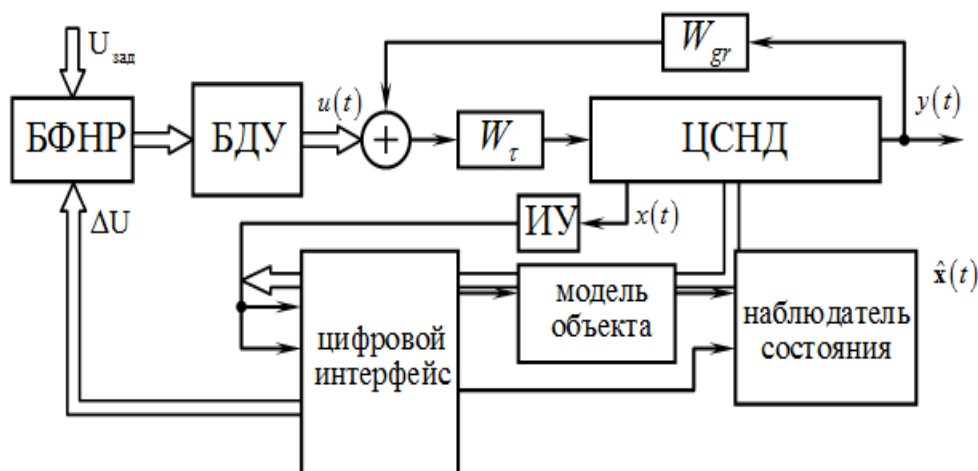
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{T_2^2} & -\frac{T_1}{T_2^2} & 0 & \frac{1-K_f}{T_2^2} & 0 & \frac{1-K_f}{T_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_f} & \frac{K_f}{T_f} & 0 & \frac{K_f}{T_f} & 0 \\ \frac{K_{lr}}{T_{lr}} & 0 & \frac{K_{lr}}{T_{lr}} & -\frac{1}{T_{lr}} & 0 & 0 & 0 \\ G & 0 & G & 0 & -\frac{1}{T_{gr}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\left(\frac{6}{\tau} + \frac{1}{T_{gr}}\right)G & G & -\left(\frac{6}{\tau} + \frac{1}{T_{gr}} + \frac{1}{T_f}\right)G & \frac{K_f}{T_f}G & \left(\frac{12}{\tau^2} + \frac{6}{\tau T_{gr}} + \frac{1}{T_{gr}^2}\right) \frac{K_f}{T_f}G - \frac{12}{\tau^2} & -\frac{6}{\tau} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{(1-K_f)}{T_2^2} \\ \frac{K_f}{T_f} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_f}{T_f}G \end{bmatrix} \cdot u(t), \\ y(t) = \begin{bmatrix} (1-K_{lr})(1-K_{gr}) & 0 & (1-K_{lr})(1-K_{gr}) & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \cdot u(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

где: $x_1(t) = X_{dc}(t)$, $x_2(t) = \frac{dX_{dc}(t)}{dt}$, $x_3(t) = X_f(t)$, $x_4(t) = X_{lr}(t)$, $x_5(t) = X_{gr}(t)$,
 $x_6(t) \approx X_{gr}(t-\tau)$, $x_7(t) = \frac{dX_{gr}(t-\tau)}{dt}$, $u(t) = X_{d\Sigma}(t-\tau)$, $y(t) = X_m(t)$, $G = (1-K_{lr}) \frac{K_{gr}}{T_{gr}}$

Здесь представленные расходы $X(t)$ и коэффициенты K с соответствующими индексами характеризуют функционирование отдельных фрагментов смесеприготовительного агрегата.

Синтезируем наблюдатель пониженного порядка, причем ограничимся случаем те-

кущей регистрации только одной переменной состояния. В качестве такой переменной выберем мгновенный расход материалотока $x(t)$ на выходе из смесителя – как наиболее доступную для измерения (рисунок 1).



ИУ – измерительное устройство; БДУ – блок дозирующих устройств;
 $\hat{x}(t)$ – вектор оцениваемых переменных состояния; БФНР – блок формирования
 номинальных режимов работы дозаторов

Рисунок 1 – К синтезу модели агрегата на основе наблюдателя состояния $(n-1)$ -го порядка:

Уравнение редуцированного наблюдателя $(n-1)$ -го порядка имеет вид:

$$\dot{\hat{x}}_e(t) = (A_{ee} - G_e A_{1e}) \hat{x}(t) + A_{1e} y(t) + B_e u(t) + G_e [\dot{y}(t) - a_{11} y(t) - b_1 u(t)]$$

где $\hat{x}_e(t)$ – вектор переменных состояния (ПС), подлежащий оценке;

A_{1e} и A_{ee} – части матрицы состояния, соответствующие регистрируемой и восстанавливаемой частям вектора ПС;

G_e – матрица коэффициентов редуцированного наблюдателя.

Для определения матрицы G_e , воспользуемся формулой Аккермана для синтеза наблюдателя пониженного порядка:

$$G_e = D_e (A_{ee}) \begin{bmatrix} A_{1e} \\ A_{1e} A_{ee} \\ \vdots \\ A_{1e} A_{ee}^{n-2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $D_e(A_{ee})$ – желаемый характеристический полином наблюдателя в матричной записи.

В качестве желаемого характеристического полинома – по условиям обеспечения качества переходного процесса в системе – выбран полином Чебышева шестого порядка, имеющий вид:

$$T_6(s) = 32s^6 - 48s^4 + 18s^2 - 1 \quad (3)$$

С помощью программы MathCAD и значений параметров, полученных при анализе смесеприготовительного агрегата, проведены необходимые преобразования.

В частности, матрицы A_{1e} и A_{ee} с учетом системы уравнений (1) в числовой форме:

$$Aee = \begin{bmatrix} -0.025 & -0.365 & 0 & 0.017 & 0 & 0.017 \\ 0 & 0 & 1 & 0.31 & 0 & 0 \\ 0.48 & 0 & 0.48 & -1 & 0 & 0 \\ 0.125 & 0 & 0.125 & 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.25 & 0.125 & -0.374 & 0.039 & 1.75 & -0.711 \end{bmatrix}.$$

$$Ale = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1.5]$$

Значения скаляров a_{1i} и b_i берутся из системы уравнений (1).

Далее определяются произведения матриц:

$$Ale = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1.5]$$

$$Ale \cdot Aee = [0.375 \ -1.88 \ 0.561 \ -0.059 \ -2.625 \ 1.067]$$

$$Ale \cdot Aee^2 = [-0.014 \ -3.563 \times 10^{-3} \ -0.324 \ -0.571 \ 1.896 \ -0.81]$$

$$Ale \cdot Aee^3 = [-0.024 \ -0.096 \ 0.072 \ 0.291 \ -1.132 \ 0.575]$$

$$Ale \cdot Aee^4 = [-0.072 \ 0.081 \ -0.24 \ -0.08 \ 0.86 \ -0.439]$$

$$Ale \cdot Aee^5 = [-0.014 \ -0.029 \ 0.012 \ 0.247 \ -0.728 \ 0.336]$$

Запишем полученную матрицу наблюдаемости:

$$Qe = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1.5 \\ 0.375 & -0.188 & 0.561 & -0.059 & -2.625 & 1.067 \\ -0.014 & -3.563 \cdot 10^{-3} & -0.324 & -0.571 & 1.896 & -0.81 \\ -0.024 & -0.096 & 0.072 & 0.291 & -1.132 & 0.575 \\ -0.072 & 0.081 & -0.247 & -0.08 & 0.86 & -0.439 \\ -0.014 & -0.029 & 0.12 & 0.247 & -0.728 & 0.336 \end{bmatrix}.$$

Преобразуем полином Чебышева в матричную форму, для этого в уравнение полинома вместо переменной Лапласа s подставим матрицу состояния A , а свободный член помножим на единичную диагональную матрицу I .

$$De = 32 \cdot Aee^6 - 48 \cdot Aee^4 + 18 \cdot Aee^2 - 1 \cdot Ie, \quad (4)$$

Желаемый полином в матричной форме имеет вид:

$$De = \begin{bmatrix} 1.755 & -2.897 & -2.541 & -10.696 & 4.14 & -0.36 \\ 6.742 & 2.136 & 14.78 & -3.666 & -13.514 & 1.701 \\ 6.143 & -2.639 & 7.905 & -14.9 & 6.844 & -0.431 \\ 1.905 & -0.361 & 3.121 & -3.651 & -1.423 & 0.027 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -2.232 & 1.623 & -2.377 & 6.757 & -5.138 & -0.033 \end{bmatrix}.$$

$$Ge = De \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1.5 \\ 0.375 & -0.188 & 0.561 & -0.059 & -2.625 & 1.067 \\ -0.014 & -3.563 \cdot 10^{-3} & -0.324 & -0.571 & 1.896 & -0.81 \\ -0.024 & -0.096 & 0.072 & 0.291 & -1.132 & 0.575 \\ -0.072 & 0.081 & -0.247 & -0.08 & 0.86 & -0.439 \\ -0.014 & -0.029 & 0.12 & 0.247 & -0.728 & 0.336 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Таким образом, после выполнения операции обращения матрицы наблюдаемости и преобразования матриц в выражении (5) искомая матрица редуцируемого наблюдателя G_e представляется в форме вектора-столбца

$$Ge = \begin{bmatrix} -277.289 \\ 44.277 \\ -11.031 \\ -78.811 \\ -35.35 \\ -17.206 \end{bmatrix}.$$

Промежуточная матрица при векторе ПС ($A_{ee} - G_e A_{1e}$) будет иметь вид:

$$A_{ee} - G_e \cdot A_{1e} = \begin{bmatrix} -0.025 & -0.365 & 0 & 0.017 & 277.289 & -415.916 \\ 0 & 0 & 1 & 0.31 & -44.277 & 66.726 \\ 0.48 & 0 & 0.48 & -1 & 11.031 & -16.546 \\ 0.125 & 0 & 0.125 & 0 & 78.311 & -118.217 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 35.35 & -53.025 \\ -0.25 & 0.125 & -0.374 & 0.039 & 18.956 & -26.52 \end{bmatrix}.$$

Используя результаты расчетов, в итоге записываем уравнение редуцированного наблюдателя ($n-1$)-го порядка в числовой форме:

$$\dot{\hat{X}}_e(t) = \begin{bmatrix} -0.025 & -0.365 & 0 & 0.017 & 277.289 & -415.916 \\ 0 & 0 & 1 & 0.31 & -44.277 & 66.726 \\ 0.48 & 0 & 0.48 & -1 & 11.031 & -16.546 \\ 0.125 & 0 & 0.125 & 0 & 78.311 & -118.217 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 35.35 & -53.025 \\ -0.25 & 0.125 & -0.374 & 0.039 & 18.956 & -26.52 \end{bmatrix} \cdot \hat{X}(t) +$$

$$+ [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1.5] \cdot y(t) + \begin{bmatrix} 0.017 \\ 0.31 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.039 \end{bmatrix} \cdot u(t) + \begin{bmatrix} -277.289 \\ 44.277 \\ -11.031 \\ -78.811 \\ -35.35 \\ -17.206 \end{bmatrix} \cdot [\dot{y}(t) - 0 \cdot y(t) - 0 \cdot u(t)].$$

Приведенный алгоритм восстановления неизмеряемых переменных состояния, реализованный на примере смесеприготовительного агрегата, целесообразно использовать в

перспективных системах модального регулирования с целью эффективного управления сложными процессами, протекающими в технологических объектах технического характера и в структурах биологического типа.

Библиографический список

1. Ackermann, J.E. Der Entwurf linearer Regelungssysteme im Zustandsraum, Regelungstechnik und Prozessdatenverarbeitung, 7 (1972), 297-300.

ОСНОВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ

Стефанкин А.Е., Хачатрян Л.Р.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Мембранные методы разделения и очистки жидкостей и газов от микро- и макропримесей являются наиболее эффективными и экономичными в силу ряда преимуществ:

- проведение процессов в «мягких» технологических режимах;
- возможность осуществления одновременной очистки и концентрирования растворов;
- проведение процесса без фазовых превращений перерабатываемого продукта, что способствует сохранению качества.

К мембранным методам разделения жидких сред относятся обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация, диализ и электродиализ, мембранная дистилляция [1].

Основными считают баромембранные процессы, движущей силой которых является разность давлений до и после полупроницаемой мембраны. Отличительной особенностью мембранных методов является не только размер задерживаемых частиц и используемое давление, но также и диаметр пор активного слоя мембраны.

При создании автоматизированных систем научных исследований мембранных процессов основным этапом является анализ процесса как объекта автоматизации [2].

Основным показателем проведения мембранного процесса служит концентрация растворенных веществ. Рассмотрим основные методы ее измерения: нефелометрия, турбидиметрия, рефрактометрия.

Нефелометрия – метод исследования и анализа вещества по интенсивности светового потока, рассеиваемого взвешенными частицами данного вещества. Интенсивность рассеянного светового потока зависит от множества факторов, в частности от концентрации частиц в пробе. Для измерения интенсивности рассеянного света используются специальные приборы – нефелометры. Их действие основано на уравнивании двух световых потоков: одного от рассеивающей взвеси, другого от матового или молочного стеклянного рассеивателя прибора.

Нефелометры используют для определения мутности вин, пива, соков и др. В настоящее время главным образом распространены лабораторные нефелометры, например, нефелометр TurbiCheck с инфракрасным источником света компания Lovibond [3]. Такие приборы при создании систем автоматического управления не применимы.

Турбидиметрия – метод количественного анализа вещества. Принцип метода основан на измерении интенсивности света определенной длины волны, прошедшего через суспензию, образованную частицами определяемого вещества. Генерируемый пучок света пропускается через образец и измеряется с помощью двух датчиков, установленных в направлении 90° друг к другу. При подаче луча некоторая его часть рассеивается в жидкости, и в зависимости от интенсивности свечения можно определить количество, форму, цвет и размер взвешенных частиц. Метод очень похож на метод нефелометрии, однако в отличие от него, ана-

литическим сигналом служит интенсивность не рассеянного света, а прошедшего.

Приборы, использующие метод турбодиметрии, называют турбидиметрами или мутномерами.

Сфера применения мутномеров довольно широка: химическая и нефтехимическая промышленность, медицина, экология и т.д. В пищевой промышленности метод применяют при определении мутности вин, пива, соков, кваса, молочных продуктов и др. Данный метод измерения обеспечивает высокую достоверность измерений и позволяет делать точные выводы о композиции смеси и концентрации взвешенных в ней частиц.

Распространение получили как лабораторные приборы, например, мутномеры 2100 компании HACH [4], так и поточные, например, TF16 и AF45 компании Optek [5].

Рефрактометрия – метод исследования веществ, основанный на определении показателя (коэффициента) преломления (рефракции) и некоторых его функций. Рефрактометрия (рефрактометрический метод) применяется для идентификации химических соединений, количественного и структурного анализа, определения физико-химических параметров веществ. Принцип действия рефрактометра основан на физическом явлении полного внутреннего отражения и преломления света на границе раздела двух сред с различными показателями преломления (измерительная призма – исследуемое вещество) и определении критического угла, при котором падающий на границу раздела двух сред луч света, преломляется и выходит параллельно поверхности измерительной призмы. Пучок света от источника излучения, сформированный оптическим конденсором и входной линзой, преломляется и отражается внутри измерительной призмы и попадает на границу раздела измерительной призмы с исследуемым веществом. Часть лучей, угол падения которых на границу раздела больше критического угла, полностью отражаются от внутренней поверхности призмы и формируют, светлую часть изображения на фотоприемнике. Другая часть лучей, угол падения которых меньше критического, частично преломляются и проходят в вещество, частично отражаются от границы раздела, и формируют темную часть изображения на фотоприемнике. В результате на фотоприемнике наблюдается граница «свет-тень», соответствующая критическому углу выхода лучей из измерительной призмы. Положение границы «свет-тень» в плоскости фотоприемника зависит от соотношения показателей преломления материала измерительной призмы и исследуемого вещества, а также длины волны источника излучения. Поскольку оптические характеристики материала призмы и длина волны источника излучения постоянны, то по положению границы раздела «свет-тень» в плоскости фотоприемника можно однозначно определить показатель преломления исследуемого вещества.

В настоящее время известны лабораторные и промышленные (поточные) рефрактометры. Наиболее крупным производителем рефрактометров является инженерный центр Технокон [6]. Промышленные рефрактометры ПР-1М и ПР-2 предназначены для непрерывного измерения концентрации растворов различных жидкостей в промышленных технологических процессах. Рефрактометры могут применяться в пищевой, целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической и других отраслях промышленности. Принцип действия включает влияние цвета раствора, пузырьков воздуха, твердых частиц. Промышленные рефрактометры ПР-3 и ПР-3У разработаны для применения в пищевой промышленности для измерения концентрации сиропов, соков, джемов, алкогольных и безалкогольных напитков, томатной пасты, молочных и других продуктов, в производстве сахара. Может эффективно применяться для решения различных задач в фармацевтической, химической и других отраслях промышленности.

При построении современных систем автоматического управления мембранными процессами рекомендуется использовать приборы Технокон, характеризующиеся возможностью их включения в непрерывный процесс измерения, широким спектром действия, малой погрешностью измерений и т.д.

Библиографический список

1. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2 ч. Ч. 2. Массообменные процессы и аппараты / Ю.И. Дытнерский. – Москва: Химия, 1995. – 368 с.
2. Фомичев, Н.И. Автоматизированные системы научных исследований / Н.И. Фомичев; Ярославский государственный университет. – Ярославль, 2001. – 112 с.
3. Компания Lovibond. URL <http://www.lovibond.com/>
4. Компания HACH. URL <http://www.hach.com/>
4. Компания Optek. URL <http://www.optek.com/>
6. Инженерный центр Технокон. URL <http://www.tcon.ru/>

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ (НА ПРИМЕРЕ Г. АБАКАНА)

Жилина Н.М., Дубровин А.А.

ГОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей»

МЗ РФ, г. Новокузнецк, Россия

Государственное автономное учреждение Республики Хакасия

«Центр информатизации и новых технологий»,

г. Абакан, Россия

Актуальность работы обусловлена важностью выявления причин, влияющих на уровень эффективности информационного обеспечения системы управления здравоохранением; необходимостью системного и рационального использования имеющихся ресурсов в здравоохранении; необходимостью повышения качества оказания медицинской помощи и эффективности управления системой здравоохранения; потребностью использования в системе здравоохранения современных медицинских информационных систем (МИС), ориентированных на потребителя, электронных баз данных и баз знаний. Все это требует совершенствования информационного обеспечения в системе управления здравоохранением муниципального уровня.

Методы: системный анализ, методы теории управления, теории поддержки принятия решений, матричного исчисления.

Цель исследования. Определить критерии выбора комплекса программно-аппаратных средств для информационной поддержки принятия решений специалистом. Осуществить многокритериальный выбор адекватного современным потребностям комплекса программно-аппаратных средств с помощью модифицированного метода анализа иерархий.

Научная новизна. Решение задачи многокритериального выбора оптимального комплекса программно – аппаратных средств информатизации муниципального здравоохранения с помощью модифицированного метода анализа иерархий, отличающееся формированием полного набора критериев (гибкость, программно – технический, функциональный и ценностный аспекты), обеспечивающих достижение целевого результата, модификацией способа нормирования оценок фактических значений, позволяющее удовлетворить требования по модернизации системы муниципального здравоохранения, с учетом закономерностей её функционирования.

Основные результаты. Сформулирована и решена задача многокритериального выбора медицинской информационной системы (МИС) из нескольких комплексных информационных систем с помощью модифицированного метода анализа иерархий [1, 2, 3]. Разработан перечень критериев оценки МИС, критерии проранжированы, дана экспертная оценка работы каждой из шести сравниваемых систем.

Постановка задачи многокритериального выбора системы по методу анализа иерархий.

Дано. Задача выбора комплексной медицинской информационной системы.

Возможные варианты решений: а) Информационная система «МедсиII» компании ОАО АФК «Система»; б) Специализированный программно-аппаратный комплекс «AquaMed» компании «Аквариус» создан совместно с PostModernTechnology; в) Медицинская информационная система «Медиалог» компании PostModernTechnology; г) ПП «ПАРУС» на базе СУБД «ORACLE»; д) МИС «Поликлиника»; е) Карельская медицинская информационная система;

Ограничения.

– Дефицит денежных ресурсов муниципального бюджета.
– Дефицит временных ресурсов в связи с принятой программой информатизации муниципального здравоохранения на 2008 – 2011 гг.

Требуется: определить при помощи метода анализа иерархий, какой из возможных вариантов решений предпочтительнее.

Этапы оценивания вариантов решений методом анализа иерархий.

1 шаг. Определение критериев верхнего уровня, их экспертное ранжирование и нормирование.

2 шаг. Определение критериев второго уровня (детализация критериев верхнего уровня). Уровней иерархии может быть и больше двух.

3 шаг. Оценка долей критериев второго, третьего и т.д. уровня в критериях предыдущего уровня и весов приоритетов.

4 шаг. Определение желательной тенденции критериев.

5 шаг. Оценка вариантов решений: экспертная при невозможности определения реальных значений или реальная.

6 шаг. Отображение полученных значений вариантов решений на базовую шкалу с учетом тенденции критериев.

7 шаг. Оценка решений как результат умножения матрицы весов дуг последнего уровня структурного графа процесса принятия решения на вектор весов приоритетов вершин предпоследнего уровня.

8 шаг. Если D_1, D_2, \dots, D_m – возможные решения, m – число возможных вариантов, $\chi(D_p)$ – вес p -ой конечной вершины, где $(p = 1, 2, \dots, m)$, то $\max \chi(D_p)$ означает наиболее предпочтительное решение. В предлагаемой задаче выбор из шести возможных вариантов, то есть $m=6$.

Решение. Конкретизация метода анализа иерархий.

1. *Экспертно определены основные критерии, влияющие на решение:* экономические, технические, функциональные, адаптивные. В таблице 1 приведен один из вариантов ранжирования критериев.

Таблица 1 – Варианты ранжирования критериев

| Критерии верхнего уровня | Экономический | Технический | Функциональный | Адаптивный |
|-------------------------------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| Оценка (лингвистические переменные) | Имеет значение | Очень важно | Очень важно | Важно |
| Значения на базовой шкале | 0,5 | 1 | 1 | 0,75 |

Ниже приведен структурный граф процесса принятия решений (рисунок 1).

Для наглядности *последовательность нахождения наилучшего решения* (по графам от 1 до 6) представлена в табличном виде (таблицы 2, 3).

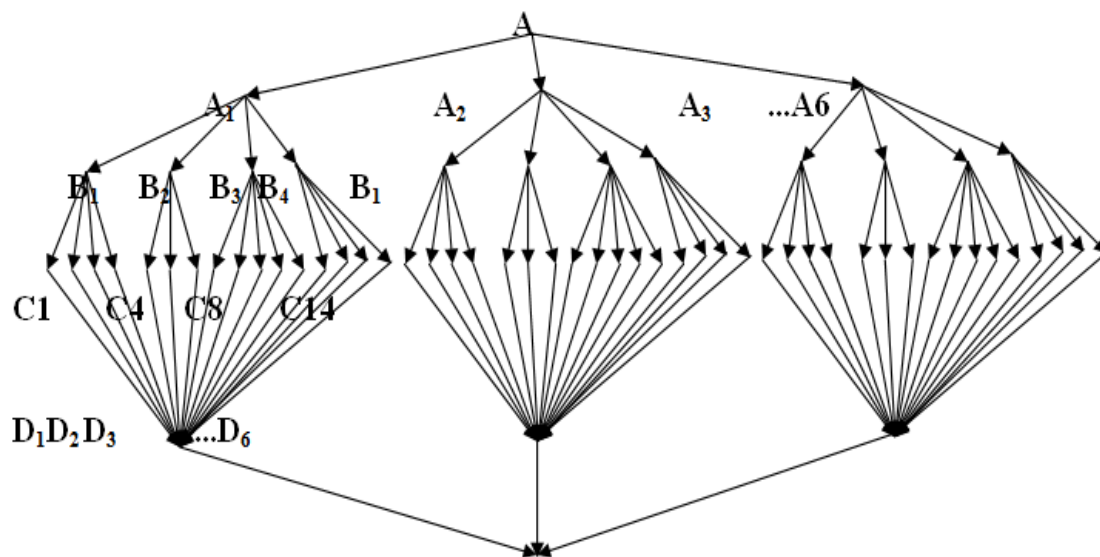
Далее определено соответствие лингвистических переменных вариантов решений значениям на базовой шкале (таблица 4).

Лингвистическим переменным экспертно присваиваются числовые значения $(\mu_i), i=1, \dots, n$, где n - число критериев, в данном случае $n = 4$ (проведено ранжирование на базовой шкале от 0 до 1, где 1 – наилучшее значение, то есть наиболее приоритетный критерий): $\mu_1 = 0,5$; $\mu_2 = 1,0$; $\mu_3 = 1,0$; $\mu_4 = 0,75$.

Далее нормируем ранги: обозначая вес пути (см. структурный граф на рисунке 1), в

частности дуги l_{ij} , где j - уровень иерархии (в нашем случае $j=1,2$) через $\pi(l_{ij})$:

$$\pi(l_{ij}) = \mu(l_{ij}) / \sum \mu(l_{ij}).$$



$$E = \max(D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6) - \text{наилучшее решение}$$

Рисунок 1 – Структурный граф процесса принятия решений

Таким образом, для критериев верхнего уровня $\pi_1=0,15$; $\pi_2=0,3$; $\pi_3=0,3$; $\pi_4=0,23$.

2. Проведена детализация критериев верхнего уровня. Экономические критерии - цена программного обеспечения на одно рабочее место, цена технической поддержки (ТП) на одно рабочее место, цена внедрения (из расчета на 50 персональных компьютеров), суммарная стоимость владения программным обеспечением (ПО) из расчета на 5 лет. Технические критерии – поддержка реляционных и не реляционных СУБД, возможность обработки данных по сети, интеграция на различные аппаратные платформы с минимальным потреблением ресурсов, возможность собственной доработки, не привлекая разработчиков, наличие встроенной справочной системы и поддержки пользователей. Функциональные критерии – выполнение требований к обеспечению сохранности и безопасности обрабатываемых персональных данных, возможность интеграции с системами делопроизводства и электронного документооборота, интеграция с ПАКС или наличие собственных разработок ПАКС. Адаптивные критерии – способность к взаимодействию с прикладным ПО, наличие собственной разработки региональной медицинской информационной системы (РМИС) или интеграция с сторонней РМИС, успешное внедрение в других регионах, интеграция с порталом Госуслуг РФ.

3. Определена доля критериев второго уровня в критерии верхнего уровня и веса их приоритетов (см. графы 5,6 таблицы 2).

4. Определена желательная тенденция критериев (см. гр. 7 таблицы 2).

5. Проведена оценка (в нашем случае экспертно) возможных вариантов решений.

6. Полученные значения вариантов решений (лингвистических переменных) отображены на базовой шкале с учетом тенденции критериев.

Веса критериев определяются экспертно с учетом предпочтений ЛПР. Веса являются альтернативными и демонстрируют возможность применения различных синонимов. Во многих случаях на последнем уровне иерархии должны быть указаны цифры (если это возможно). Эти величины, как правило, разнородны, поэтому необходимо их нормирование. При невозможности получения реальных значений вариантов решений их нужно заменить оценками лица, принимающего решение (ЛПР) с выявлением его (их) предпочтений.

Таблица 2 – Последовательность нахождения наилучшего решения

| Наименование критерия верхнего уровня | Значение критерия | | Наименование критерия второго уровня | Значение критерия | |
|--|--------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| | На базовой шкале(μ_i) | Нормированное (π_i) | | Доля в критерии верхнего уровня | Вес приоритета критериев 1 и 2-го уровней |
| Экономический | 0,5 | 0,15 | Цена ПО на одно рабочее место | 0,25 | 0,0375 |
| | | | Цена ТП (технической поддержки) на одно рабочее место | 0,2 | 0,03 |
| | | | Цена внедрения (из расчета на 50 ПК) | 0,2 | 0,03 |
| | | | Суммарная стоимость владения ПО из расчета на 5 лет | 0,35 | 0,0525 |
| Технический | 1 | 0,3 | Поддержка реляционных и не реляционных СУБД | 0,25 | 0,075 |
| | | | Возможность обработки данных по сети | 0,3 | 0,09 |
| | | | Интеграция на различные аппаратные платформы с минимальным потреблением ресурсов. | 0,2 | 0,06 |
| | | | Возможность собственной доработки, не привлекая разработчиков | 0,1 | 0,03 |
| | | | Наличие встроенной справочной системы и поддержки пользователей | 0,15 | 0,045 |
| Функциональный | 1 | 0,3 | Выполнение требований к обеспечению сохранности и безопасности обрабатываемых персональных данных | 0,5 | 0,15 |
| | | | Возможность интеграции с системами делопроизводства и электронного документооборота | 0,2 | 0,06 |
| | | | Интеграция с ПАКС или наличие собственных разработок ПАКС (PACS (Picture archiving and communication system)) | 0,3 | 0,09 |
| Адаптивный | 0,75 | 0,23 | Способность к взаимодействию с другим прикладным ПО | 0,3 | 0,069 |
| | | | Интеграция с РМИС или наличие собственной разработки РМИС (Региональная медицинская информационная система) или наличие собственной разработки | 0,3 | 0,069 |
| | | | Успешные внедрения в других регионах | 0,15 | 0,0345 |
| | | | Интеграция с порталом Госуслуг РФ | 0,25 | 0,0575 |
| Методика расчета графа таблицы | Экспертно | $\pi_i = \mu_i / \sum \mu_i$ 3,25 | Экспертно | Доля в критерии верхнего уровня | (гр.3)× (гр.5), (сумма по столбцу равна 1) |

Таблица 3 – Экспертная оценка альтернатив (фрагмент)

| № | Наименование | Оценка вариантов решений | | | | | |
|-----|---|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | МИС №1 | МИС №2 | МИС №3 | МИС №4 | МИС №5 | МИС №6 |
| 1 | Цена ПО на одно рабочее место | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,75 | 0,25 | 0,75 |
| 2 | Цена ТП (технической поддержки) на одно рабочее место | 0,5 | 0,75 | 1 | 0,25 | 0,25 | 0,5 |
| 3 | Цена внедрения (из расчета на 50 ПК) | 0,5 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,25 | 0,5 |
| 4 | Суммарная стоимость владения ПО из расчета на 5 лет | 0,25 | 0,5 | 1 | 0,75 | 0,25 | 0,25 |
| 5 | Поддержка реляционных и не реляционных СУБД | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 |
| ... | ... | | | | | | |
| 16 | Интеграция с порталом Госуслуг РФ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Таблица 4 – Соответствие лингвистических переменных вариантов решений значениям на базовой шкале

| Тенденция показателя | Соответствие лингвистических переменных значениям на базовой шкале | | | |
|----------------------|--|---|---|--------------------------|
| | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 |
| Отрицательная | Отлично | Хорошо | Удовлетворительно | Плохо |
| Положительная | Не поддерживается / не реализовано в МИС, не удовлетворяет требованиям | Реализовано с привлечением сторонних средств, продуктов, ИС, частично удовлетворяет требованиям | Частично реализовано в данной МИС, частично удовлетворяет требованиям | Реализовано в данной МИС |

$$\begin{pmatrix}
 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,25 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0,75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0,5 & 0,75 & 0,75 & 0,5 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 1 & 0,25 & 0,75 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0,5 & 0,75 & 0 & 0,75 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 0,75 & 0,25 & 0,75 & 0,75 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0,25 & 0,5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0,5 & 0,75 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\
 0,75 & 0,5 & 0,5 & 0,25 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,75 & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}
 0,0375 \\
 0,03 \\
 0,03 \\
 0,0525 \\
 0,075 \\
 0,09 \\
 0,06 \\
 0,03 \\
 0,045 \\
 0,15 \\
 0,06 \\
 0,09 \\
 0,069 \\
 0,069 \\
 0,0345 \\
 0,0575
 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
 0,21 \\
 0,29 \\
 0,31 \\
 0,24 \\
 0,26 \\
 \mathbf{0,74}
 \end{pmatrix}$$

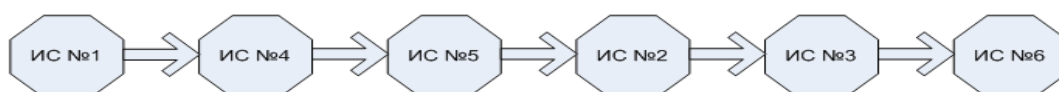


Рисунок 2 – Представление степеней превосходства в предпочтительности систем согласно решению задачи многокритериального выбора

В результате был сделан выбор в пользу программного продукта Карельской медицинской информационной системы. Успешное функционирование данного программного продукта на протяжении ряда лет в здравоохранении гг. Абакана, Кызыла и Красноярска подтверждает адекватность данного выбора.

Обоснованность и достоверность выводов определяются результатами системного анализа предметной области, литературных источников и существующих программных разработок, корректностью методик исследования, результатами внедрения МИС, повышением эффективности использования ресурсов муниципального здравоохранения, обоснованием перспективы дальнейшего развития и применения результатов исследования.

Библиографический список

1. Бурков, В. Н. Как управлять проектами / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – М. : Синтег - Гео, 1997. – 188 с.
2. Жилина, Н. М. Метод анализа иерархий для доказательства эффективности решения в медицинских исследованиях / Н. М. Жилина // Информатика и системы управления – Благовещенск : Амурский государственный университет, 2008. – С. 24-26. – ISSN 1814-2400.
3. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с.

ОЦЕНИВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ МЕТОДОМ АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Фирсов Г.И.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
г. Москва, Россия*

По мере усложнения мехатронных систем привода современного технологического оборудования применение расчетных методов математического описания все более дополняется экспериментальным изучением для получения достаточно точной и полной информации об объекте. Это обусловлено тем, что результаты экспериментальных исследований служат основной исходной информацией для решения задачи идентификации сложных механических систем, априорное построение математических моделей которых весьма трудоемко, недостаточно точно и не всегда возможно. На основе динамических испытаний производят сравнение испытываемых конструкций, получают объективную оценку динамического качества образцов, а также выявляют эффективность реализованных конструктивных мероприятий, что позволяет рассматривать динамические испытания как важнейшую часть контроля качества создаваемой продукции [1, 2]. Известно, что свойства линейной динамической системы описываются импульсной переходной функцией, представляющей реакцию системы на входное воздействие типа дельта – функции. При этом импульсная переходная функция является свободными колебаниями рассматриваемой колебательной системы, находящейся без воздействия извне и имеющей ненулевые начальные условия.

Свойства большого класса квазилинейных колебательных систем однозначно определяются по их свободным колебаниям. Представим свободные колебания квазилинейной колебательной системы с одной степенью свободы в виде аналитического сигнала $X(t) = x(t) + jx_{\Gamma}(t) = A(t)e^{j\phi(t)}$, где $x(t)$, $x_{\Gamma}(t)$ – соответственно процесс свободных колебаний

и сопряженный по Гильберту процесс $x_{\Gamma}(t) = -\pi^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{\tau - t} d\tau$, где интеграл понимается в смысле главного значения, $A(t)$, $\phi(t)$ – огибающая и мгновенная фаза колебаний, $\dot{\phi} = \omega(t)$ –

мгновенная частота колебаний [3]. Свободные колебания механических систем с течением времени затухают, упругая энергия колебаний рассеивается, превращаясь, в основном, в тепловую и акустическую энергию. Поведение амплитуды и частоты свободных колебаний характеризует упруго-диссипативные свойства квазилинейной системы [4]. Используя традиционное представление аналитического сигнала $X(t)$ в комплексной, тригонометрической или показательной форме

$$X(t) = x(t) + jx_r(t) = |X(t)|[\cos \phi(t) + j \sin \phi(t)] = A(t)e^{j\phi(t)},$$

можно однозначно определить мгновенную амплитуду (огibaющую, модуль) сигнала

$$A(t) = |X(t)| = \sqrt{x^2(t) + x_r^2(t)} = e^{\operatorname{Re} \ln X(t)}$$

и мгновенную фазу сигнала

$$\phi(t) = \operatorname{arctg} \frac{x_r(t)}{x(t)} = \operatorname{Im} \ln X(t).$$

Важнейшую роль при таком представлении вибрационного сигнала играют первые производные мгновенной фазы и мгновенной амплитуды, называемые соответственно мгновенной частотой и скоростью изменения огibaющей:

$$\omega(t) = \dot{\phi}(t) = \frac{x(t)\dot{x}_r(t) - \dot{x}(t)x_r(t)}{A^2(t)} = \operatorname{Im}[\dot{X}(t)/X(t)],$$

$$\dot{A}(t) = \frac{x(t)\dot{x}_r(t) + \dot{x}(t)x_r(t)}{A(t)} = A(t) \operatorname{Re}[\dot{X}(t)/X(t)].$$

Используя эти представления для аналитического сигнала, любой колебательный процесс может рассматриваться в каждый момент времени t как квазигармоническое колебание, модулированное по амплитуде и частоте функциями времени $A(t)$ и $\omega(t)$:

$$A(t) \cos \left[\int_0^t \omega(t) dt \right].$$

Естественно, для простейшего моногармонического процесса мгновенные амплитуда и частота являются постоянными величинами. Отметим, что вся информация о первой производной аналитического сигнала содержится в нем самом (его огibaющей и мгновенной частоте), а также в скорости изменения его огibaющей.

Исходный колебательный процесс $x(t)$ нигде не пересекает свою огibaющую $A(t)$, а в точках соприкосновения имеет общие касательные. При таком представлении любой колебательный процесс может рассматриваться в каждый момент времени t как гармоническое колебание, модулирование по амплитуде и частоте функциями времени $A(t)$ и $\omega(t)$:

$$x(t) = A(t) \cos \left[\int_0^t \omega(t) dt \right].$$

Если колебание представляет собой случайный нормальный процесс со средним квадратическим значением σ_x , то, как известно, огibaющая распределена по закону Рэлея с математическим ожиданием $\bar{A} = \sigma_x \sqrt{0,5\pi} \approx 1,25\sigma_x$ и дисперсией $\sigma_A^2 = \sigma_x^2(2 - 0,5\pi) \approx 0,43\sigma_x^2$. Полезными представляются соотношения, связывающие огibaющую и ее производную: $A\dot{A} = x\dot{x} + x_r\dot{x}_r$, а также исходный процесс с его производными

$$\dot{x} = \frac{\dot{A}}{A}x - \omega x_r, \quad \dot{X} = X \left(\frac{\dot{A}}{A} + j\omega \right), \quad \ddot{X} = X \left[\frac{\ddot{A}}{A} - \omega^2 + j \left(\frac{2\dot{A}}{A}\omega + \dot{\omega} \right) \right].$$

Однозначное выделение (демодуляция) огibaющей и других мгновенных функций сигнала производится на основе интегрального преобразования Гильберта. Преобразование

Гильберта можно осуществить, если на вход фильтра с импульсной характеристикой $(\pi t)^{-1}$ подать сигнал, определяемый функцией $x(t)$ $x_T(t) = (\pi t)^{-1} * x(t)$, где знаком $*$ обозначена свертка функций $(\pi t)^{-1}$ и $x(t)$. Физический смысл интегрального преобразования Гильберта для сигнала, представленного в частотной области, заключается в фазовом сдвиге всех спектральных составляющих исходного сигнала на $\pi/2$, например, преобразование Гильберта от функции $\cos(\omega t - \varphi)$ равно $\sin(\omega t - \varphi)$. Двойное преобразование Гильберта приводит к исходному процессу, но только с обратным знаком, т.е. осуществляет сдвиг исходного сигнала на π .

Очевидно, что идеальный преобразователь Гильберта физически не реализуем. Для того, чтобы определить передаточную функцию $H(z)$ реального преобразователя Гильберта, необходимо аппроксимировать его частотные характеристики. Преобразование Гильберта можно осуществить, если на вход фильтра с импульсной характеристикой $g(t) = 1/pt$ подать сигнал, определяемый функцией $x(t)$. Возможно построение реального преобразователя Гильберта в виде как рекурсивного, так и нерекурсивного фильтров [5, 6]. При построении преобразователя Гильберта в виде нерекурсивного фильтра целесообразно использовать фильтр с точно линейной фазо-частотной характеристикой и передаточной функцией вида

$$h(z) = \sum_{l=0}^{N-1} b_l z^{-l}$$
, где N – нечетное, $b_l = -b_{N-l-1}$ (антисимметричные коэффициенты). На практике получили широкое распространение фильтры, основанные на равномерной чебышевской аппроксимации по алгоритму Ремеза, впервые синтезированные Дж. Мак-Клелланом, Дж. Парксом и Л. Рабинером [7] и включенные в математические пакеты MATLAB и MathCAD [8].

При демодуляции сигнала с помощью преобразования Гильберта важным представляется вопрос о возникающих погрешностях его обработки на ЭВМ. Основная часть погрешности обработки сигнала определяется выбранным способом оценивания искомой характеристики, т.е. формулой, по которой вычисляются значения искомой функции, а также исходными погрешностями аргументов, входящих в эту формулу.

Рассмотрим погрешность оценивания функции $f(x_1, \dots, x_k)$ нескольких переменных x_1, \dots, x_k при условии, что для значений этих переменных известны абсолютные погрешности Δa_i . Если $f(x_1, \dots, x_k)$ имеет непрерывные частные производные $\partial f / \partial x_i$ по переменным x_i , то абсолютная погрешность функции может быть определена по формуле

$$\Delta f = \sum_{i=1}^k \Delta a_i \left| \partial f(a_1, \dots, a_k) / \partial x_i \right|.$$

Погрешности аргументов, входящих в формулы для мгновенных характеристик, зададим следующим образом. Примем, что исходная относительная погрешность измерения и преобразования сигнала $x(t)$ составляет величину $\Delta x / x = \varepsilon_x$; погрешность получения преобразованного по Гильберту процесса x_T - величину $\Delta x_T / x_T = \varepsilon_{x_T} = k_1 \varepsilon_x$; погрешность получения дифференцированного процесса $\dot{x} - \Delta \dot{x} / \dot{x} = \varepsilon_{\dot{x}} = k_2 \varepsilon_x$; погрешность преобразованного по Гильберту и однократно дифференцированного процесса $\dot{x}_T - \Delta \dot{x}_T / \dot{x}_T = \varepsilon_{\dot{x}_T} = k_1 k_2 \varepsilon_x$. Численные значения констант k_1 и k_2 определяются конкретным типом цифровых фильтров, реализованных на ЭВМ. Например, при использовании универсальной виброизмерительной аппаратуры и программ цифровой фильтрации [7] для преобразователя Гильберта и дифференциатора с длиной импульсной характеристики 59 точек и неравномерностью частотной характеристики 1% можно принять $\varepsilon_x = 0,01$, $k_1 = k_2 = 2$, т.е. $\varepsilon_{\dot{x}} = \varepsilon_{x_T} = 0,02$.

На основе вышеприведенного выражения, используя методику, предложенную в работах М.С. Фельдмана [1,9,10], выведем формулы для относительных погрешностей следующих функций, перечисленных в таблице 1, где $\varepsilon_x = 0,01$; $k_1 = k_2 = 2$; Δt – интервал дискрети-

зации; A_i, A_{i+1} – соседние во времени значения огибающей; A_0 – начальная амплитуда в момент времени $t = 0$; $N = t/\Delta t = 400$ – число отсчетов процесса:

– Мгновенная амплитуда: $\Delta A / A = (\Delta x + \Delta x_r x_r) / (x^2 + x_r^2) = \varepsilon_x [1 + (k_1 - 1)x_r^2 / A^2]$. С учетом выражений $\sigma_x^2 = 0,5(\bar{A}^2 + \sigma_A^2)$ и $\bar{A}^2 = \bar{A}^2 + \sigma_A^2$ имеем величину отношения средних значений аргументов $\bar{x}_r^2 / \bar{A}^2 = 0,5$, откуда $\varepsilon_A = 0,5 \varepsilon_x (1 + k_1)$.

– Мгновенная фаза: $\Delta \phi / \phi = (\Delta x x_r + \Delta x_r x) / A^2 = (\varepsilon_x + \varepsilon_{x_r}) / (\text{ctg} \phi + \text{tg} \phi)$. Для некоторого среднего фазового угла $\phi = \pi/4$ имеем $\varepsilon_\phi = 0,5 \varepsilon_x (1 + k_1)$.

– Мгновенная частота: $\Delta \omega / \omega = \omega^{-1} A^{-2} (\Delta x \dot{x}_r + \Delta \dot{x}_r x + \Delta \dot{x}_r x_r + \Delta x_r \dot{x}) + 2\Delta A / A = \varepsilon_x \left[1 + k_1 k_2 + (1 + k_1 k_2 + k_1 + k_2) \frac{\dot{x}_r x_r}{\omega A^2} \right] + \frac{2\Delta A}{A}$. Среднее значение произведения зависимых централизованных процессов равно произведению их средних квадратичных отклонений: $\overline{\dot{x}_r x_r} = \sigma_x \sigma_{x_r} = \omega_0 \sigma_x^2$, где ω_0 – центральная частота процесса $x(t)$. Среднее значение произведения независимых процессов равно произведению их средних $\overline{\omega A^2} = \bar{\omega} \bar{A}^2 = \omega_0 (A^2 + \sigma_A^2) = 2\omega_0 \sigma_x^2$. В результате имеем $\frac{\overline{\dot{x}_r x_r}}{\omega A^2} = 0,5$. Итоговое выражение для ε_ω приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Относительные погрешности определения мгновенных характеристик

| Наименование характеристики | Способ оценивания | Условия оценки | Относительная погрешность оценки | Пример величины погрешности |
|---|--|---|---|-----------------------------|
| Огибающая, $A(t)$ | $\sqrt{x^2 + x_a^2}$ | $\bar{x}_a^2 / \bar{A}^2 = 0,5$ | $0,5 \varepsilon_x (1 + k_1)$ | 0,015 |
| Мгновенная фаза, $\phi(t)$ | $\arctg(x_r/x)$ | $\phi = \pi/4$ | $0,5 \varepsilon_x (1 + k_1)$ | 0,015 |
| Мгновенная частота, $\omega(t) = 2\pi f(t)$ | $(x \dot{x}_a - \dot{x}_a x_a) / A^2$ | $\frac{\overline{\dot{x}_a x_a}}{\omega A^2} = 0,5$ | $0,5 \varepsilon_x (5 + 3k_1 + k_2 + 3k_1 k_2)$ | 0,125 |
| Скорость изменения мгновенной амплитуды, $\dot{A}(t)$ | $(x \dot{x} + x_a \dot{x}_a) / A$ | $\frac{\overline{\dot{x}_a x_a}}{\dot{A} A} = 1$ | $0,5 \varepsilon_x (1 + 3k_1 + 2k_1 k_2)$ | 0,075 |
| Мгновенный коэффициент демпфирования, $h(t)$ | $-\dot{A} / A, \Delta t^{-1} \ln(A_i / A_{i+1})$ | $\dot{\omega} = 0$ | $\varepsilon_x (1 + 2k_1 + k_1 k_2)$ | 0,09 |
| Мгновенный декремент колебаний, $\delta(t)$ | $-\dot{A} / A f,$ | $\dot{\omega} = 0$ | $0,5 \varepsilon_x (7 + 7k_1 + k_2 + 5k_1 k_2)$ | 0,215 |
| Среднее значение декремента $\bar{\delta}$ | $(f t)^{-1} \ln(A / A_0)$ | $\dot{\omega} = 0$ | $\varepsilon_\delta / \sqrt{N}$ | 0,011 |

– Скорость изменения мгновенной амплитуды:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{A} / \dot{A} &= A^{-1} \dot{A}^{-1} (\Delta x \dot{x} + \Delta \dot{x} x + \Delta x_r \dot{x}_r + \Delta \dot{x}_r x_r) + \Delta A / A = \\ &= \varepsilon_x (1 + k_2) + \varepsilon_A + \varepsilon_x (k_1 + k_1 k_2 - 1 - k_2) \frac{x_r \dot{x}_r}{\dot{A} A}. \end{aligned}$$

Здесь используем следующие подстановки $\overline{\dot{x}_r x_r} = \omega_0 \sigma_x^2$, $\overline{\dot{A}A} = \sigma_{\dot{A}} \sigma_A = \Delta \omega \sigma_x^2 \sqrt{2 - 0,5\pi}$, где $\Delta \omega$ – ширина спектрального пика нормального случайного процесса $x(t)$. В результате имеем $\overline{\dot{x}_r x_r} / \overline{\dot{A}A} = \omega_0 / \Delta \omega \sqrt{2 - 0,5\pi} \approx \omega_0 / 0,65 \Delta \omega$.

Для широкополосных процессов, у которых $\Delta \omega \geq \omega_0$, последнее выражение может быть приравнено 1, а для узкополосных ($\Delta \omega \ll \omega_0$) – 0. Итоговое выражение для $\varepsilon_{\dot{A}}$ в случае широкополосного сигнала приведено в таблице 1.

– Мгновенный коэффициент демпфирования линейной системы ($\dot{\omega} = 0$)

$$\Delta h / h = h^{-1} \left(\frac{\Delta \dot{A}}{A} + \frac{\Delta A \dot{A}}{A^2} \right) = \varepsilon_{\dot{A}} + \varepsilon_A.$$

– Мгновенный декремент колебаний линейной системы ($\dot{\omega} = 0$):

$$\Delta \delta / \delta = \delta^{-1} \left(\frac{\Delta \dot{A}}{A f} + \frac{\Delta A \dot{A}}{f A^2} + \frac{\Delta f \dot{A}}{A f^2} \right) = \varepsilon_{\dot{A}} + \varepsilon_A + \varepsilon_f. \text{ Отметим, что при осреднении оцениваемой ха-}$$

рактеристики по множеству точек N относительная погрешность уменьшается в \sqrt{N} раз.

Анализ полученных выражений для относительных погрешностей показывает, что с наименьшими погрешностями оцениваются мгновенная амплитуда и мгновенная фаза колебательного процесса ($\varepsilon_A = \varepsilon_\phi \approx 0,015$), а с наибольшими погрешностями – мгновенная частота ($\varepsilon_\omega \approx 0,125$) и мгновенный декремент колебаний ($\varepsilon_\delta \approx 0,215$). Поэтому при определении скелетных кривых и диссипативных характеристик стационарных динамических систем следует стремиться к многократному повторению импульсного воздействия с последующей обработкой виброграмм затухающих колебаний, что позволит за счет статистического осреднения уменьшить погрешность оценки характеристик до приемлемой величины. Отметим также, что на высоких частотах в окрестности половины частоты дискретизации цифровые преобразователь Гильберта и дифференциатор дают наибольшие ошибки преобразования сигнала, поэтому для снижения высокочастотной погрешности целесообразно ввести дополнительную низкочастотную фильтрацию мгновенных характеристик. Такая фильтрация мгновенной амплитуды с частотой среза f_1 , эквивалентна полосовой фильтрации исходного процесса с шириной полосы $2f_1$.

Рассматриваемый метод основан на выделении основной медленной гармоники аналитического сигнала, имеющей фиксированную ширину спектра. Выделение такой гармоники возможно при условии, когда спектральные участки соседних гармоник не перекрываются [1]. Поскольку ширина спектра колебательной системы с одной степенью свободы определяется величиной демпфирования и степенью нелинейности, то метод применим при невысоком демпфировании $h \leq \omega_0/4$ ($\delta \leq 1,5$), типичном для большинства машиностроительных конструкций, и при малой нелинейности, не выводящей скелетную кривую по частоте за границы $\omega_0/2$ и $3\omega_0/4$.

При исследовании колебательных систем с несколькими степенями свободы метод требует предварительной полосовой фильтрации сигнала, причем ширина полосы предварительного фильтра должна превышать ширину пика гармоники аналитического сигнала $\Delta f_{\text{п}} > \delta f_0/\pi$. Для правильной и более точной работы цифровых фильтров, формирующих мгновенные характеристики, необходимо, чтобы соблюдалось следующее приближенное условие для частоты дискретизации $2,5f_{\text{max}} \leq f_{\text{дискр}} \leq 2,5f_{\text{min}}$, где $f_{\text{max}(\text{min})}$ – границы спектра сигнала. Оценим требуемую длительность реализации исследуемого сигнала при действии одного импульса. Условимся считать, полностью затухшим процесс, амплитуда которого уменьшилась, например в 20 раз. Это условие соответствует числу наблюдаемых периодов свободных колебаний, примерно равному $3/\delta$, где δ – декремент колебаний. Отсюда длительность однократного испытания составит величину $t = 3/\delta f_{\text{min}}$, где f_{min} – минимальная ча-

стота в рассматриваемом частотном диапазоне. Для повышения точности обработки за счет уменьшения влияния переходных процессов в цифровых преобразователях можно рекомендовать искусственное увеличение числа отсчетов сигнала путем добавления слева к исходному процессу $x(t)$ его зеркального отражения $x(-t)$.

Библиографический список

1. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
2. Добрынин С.А., Фирсов Г.И. Некоторые проблемы прогнозирования случайных процессов // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2013. – С. 409 – 413.
3. Вайнштейн Л.А., Вакман Д.Е. Разделение частот в теории колебаний и волн. М.: Наука, 1983. – 288 с.
4. Закржевский М.В. Колебания существенно нелинейных механических систем. Рига: Зинатне, 1980. 185 с.
5. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
6. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.
7. Rabiner L.R., Gold B. Theory and Applications of Digital Signal Processing. – Englewood Cliffs (N.J.), Prentice Hall, 1975. – 762 p.
8. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. - 608 с.
9. Feldman M. Non-linear system vibration analysis using Hilbert transform. I. Free vibration analysis method «FREEVIB» // Mechanical Systems and Signal Processing. – 1994. – No. 8(2). – P. 119 – 127.
10. Feldman M.S. Hilbert Transform Applications in Mechanical Vibrations. Chichester: Wiley, 2011. – 292 p.

О РАЗРАБОТКЕ МНОГОСТРУКТУРНОГО РАСПОЗНАВАТЕЛЯ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ¹

Трофимов В.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Задача распознавания образов заключается в классификации изображений на основе определенных требований, причем изображения, относящиеся к одному классу образов, обладают относительно высокой степенью близости. Распознавание представляет собой классификацию на множестве признаков, оцениваемых по наблюдаемому изображению. Процесс отбора информативных признаков до сих пор остался процедурой эвристической, зависящей как от предметной области, так и от предпочтений разработчика. Можно также сказать, что классификация образов заключается в отображении пространства признаков в пространства решений. При таком подходе [1-5] распознавание образов включает две задачи:

- 1) оценивание информативных признаков (геометрических, топологических, вероятностных, спектральных);
- 2) классификация (принятие решения о принадлежности изображения к тому или иному классу на основе анализа значений признаков).

¹ Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-4068.2015.8.

Решению задач распознавания образов в автоматизированных системах, построения решающих правил с повышенной структурной сложностью, комбинирования классификаторов посвящено достаточно много теоретических и практических работ. Это показывает, что теория коллективного принятия решений множеством классификаторов - фундаментальное, развивающееся направление в распознавании образов, которое находит широкое применение в решении сложных прикладных задач, является предметом активных научных исследований. С точки зрения улучшения качества совместной классификации путем коррекции параметров многоструктурных распознавателей, их практической реализации в автоматизированных системах управления, известные методы распознавания образов требуют переосмысления и дальнейшего развития. Это вызвано несколькими причинами.

Во-первых, известные теоретические вычислительные процедуры распознавания, как правило, базируются на строгих ограничениях и жестких исходных предположениях, выполнение которых на реально действующих объектах весьма затруднительно.

Во-вторых, выбор классификатора для решения конкретной задачи распознавания чрезвычайно затруднен из-за огромного многообразия алгоритмов распознавания, разработанных к настоящему времени. Проверка предпосылок классификаторов не всегда возможна, поэтому объединение различных классификаторов в многоструктурный распознаватель позволяет наилучшим образом использовать особенности различных классификаторов.

В-третьих, более совершенным подходом для распознавания образов является классификация, базирующаяся на интеллектуальном анализе информативных признаков и структурной адаптации, чем подход, основанный на сравнении входного образа с эталонами.

В-четвертых, элементарные классификаторы могут быть не очень эффективны, но, работая совместно, они обладают высокой точностью и низкими требованиями к вычислительным ресурсам, даже наихудший классификатор может внести свой вклад в улучшение свойств системы распознавания в целом.

В-пятых, для эффективного решения задачи распознавания необходимо первоначально заняться обучением множества элементарных классификаторов, построенных на базе различных алгоритмов.

Предлагаемый многоструктурный распознаватель (рисунок 1) представляет собой такое соединение элементарных нейросетевых классификаторов (НК), при котором на их вход одновременно поступают оценки информативных признаков, на основе анализа которых они относят входной образ к одному из классов, а затем принимается итоговое решение о номере класса. Итоговое решение о номере класса принимается, если входной образ к одному и тому же классу отнесло наибольшее число элементарных классификаторов. На рисунке 1: БПР – блок принятия решений; БОИП – блок оценивания информативных признаков.



Рисунок 1 – Схема многоструктурного распознавателя

Измерительная система (датчик, видеокамера) воспринимает воздействие объекта распознавания и преобразует его в сигналы (первичные данные), удобные для компьютерной обработки. Блок оценивания информативных признаков (называемый также выделителем признаков, рецептором, фильтром свойств, детектором признаков или препроцессором), ориентированный на уменьшение объема обрабатываемых данных, выделяет из первичных данных полезные сведения. Классификаторы на основе этих сведений относят объект распознавания к одному из нескольких классов (категорий).

Для исследования предлагаемого распознавателя была сформирована обучающая выборка, состоящая из изображений цифр от 0 до 9 с фоном и без фона, с помехами и без них. Размер каждого образца – 26x41 пикселей (26 строк и 41 столбец). На рисунке 2 показаны цифровые изображения из этого набора.



Рисунок 2 – Примеры растровых изображений символов (первичные данные)

На вход нейросетевых классификаторов (искусственных нейронных сетей) подаются наборы последовательностей признаков, выделенных из изображений.

Каждое из наблюдений обучающей выборки составлено из признаков, представляющих собой суммы кодов цвета пикселей в каждом из 26 столбцов и в каждой из 41 строки изображения. Поэтому входной слой искусственных нейронных сетей состоит из 67 входных элементов.

Признаки были выделены при помощи разработанной программы «ABcoder» (рисунок 3), осуществляющей преобразование цветного изображения в изображение с нулевым контрастом, минимаксное нормирование изображения, бинаризацию, суммирование бинарных кодов цвета пикселей по строкам и по столбцам. Использовались данные, полученные после обработки изображений символов из полей «По строкам» и «По столбцам».

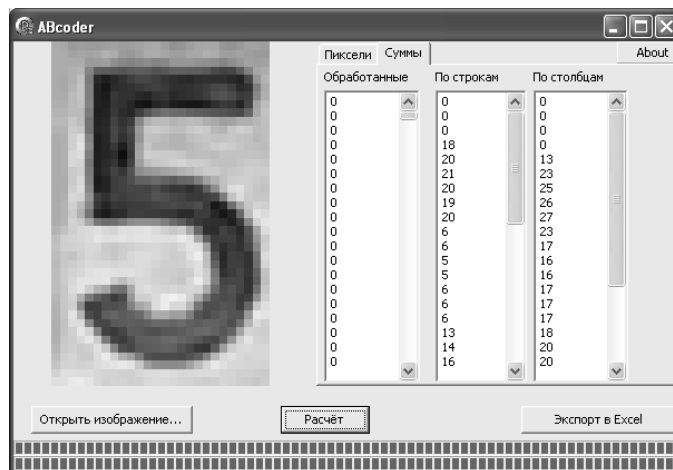
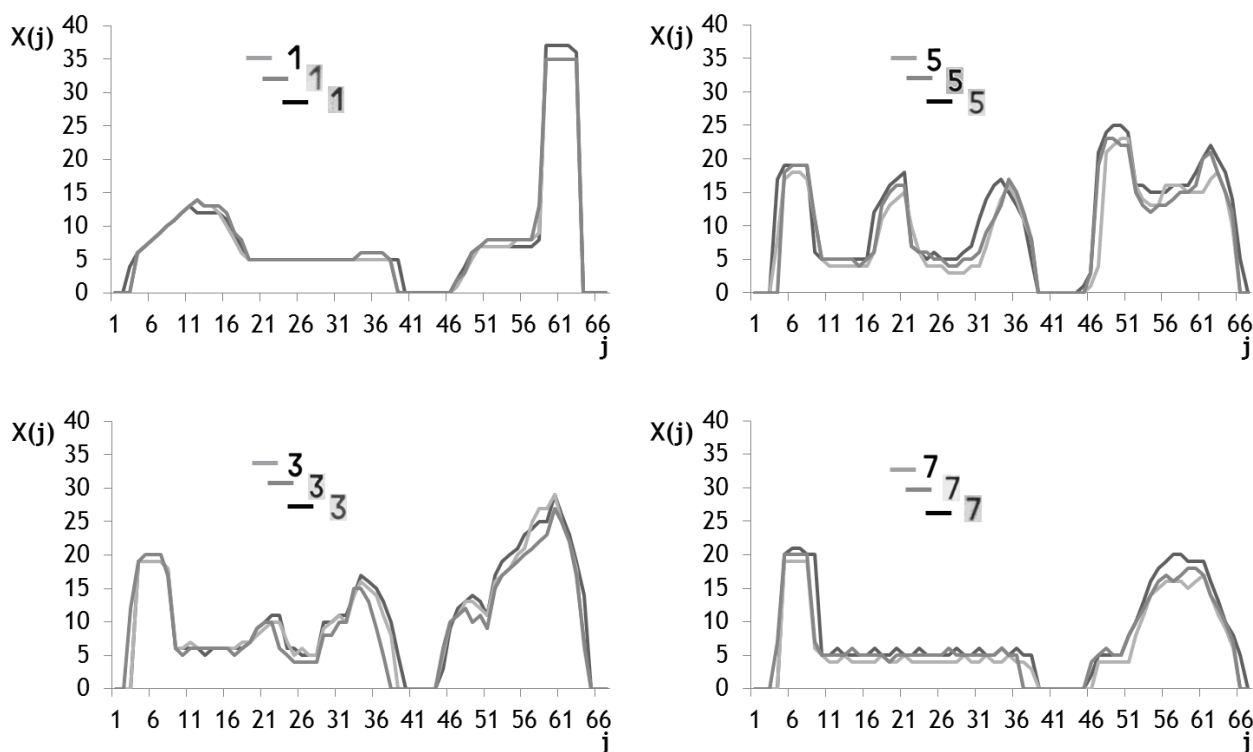


Рисунок 3 – Экранная форма программы

На рисунке 4 приведены некоторые выделенные информативные признаки цифровых изображений.

Количество нейронов в промежуточном слое классификаторов определялось в ходе экспериментов. Выходной слой классификаторов состоит из 10 нейронов – количество возможных классов, к которым может быть отнесено цифровое изображение.

Данные, получаемые на выходном слое классификаторов, имеют вид кода класса, к которому отнесено цифровое изображение. Если на вход нейросетевого классификатора подается изображение цифры «5», а его выход имеет вид {0000010000}, то классификатор распознал объект верно.



$X(j)$ – сумма кодов цвета пикселей по строкам и по столбцам;
 j – номер строки, столбца черно-белого изображения

Рисунок 4 – Информативные признаки

Для оценивания эффективности многоструктурного распознавателя была сформирована контрольная выборка. В нее были внесены цифровые изображения, которые не использовались при обучении нейронных сетей. Также были добавлены образцы, содержащие шумы.

Для моделирования работы распознавателя был выбран программный продукт «STATISTICA Neural Networks». В качестве нейросетевых классификаторов использовали различные типы искусственных нейронных сетей, с разным количеством нейронов в промежуточном слое, обученные по разным методам.

Таким образом, в многоструктурный распознаватель были включены следующие нейросетевые классификаторы:

1) трехслойные перцептроны: ВР-15 – перцептрон, обученный по методу обратного распространения ошибки с 15 нейронами в промежуточном слое; ВР-20 – по методу обратного распространения ошибки с 20 промежуточными нейронами; СГ-30 – по методу сопряженных градиентов с 30 промежуточными нейронами; СГ-40 – по методу сопряженных

градиентов с 40 промежуточными нейронами; QN-20 – по квазиньютоновскому методу с 20 промежуточными нейронами; QN-30 – по квазиньютоновскому методу с 30 промежуточными нейронами; QP-15 – по методу быстрого распространения с 15 промежуточными нейронами; QP-20 – по методу быстрого распространения с 20 промежуточными нейронами;

2) RB-20 – радиальная нейронная сеть с 20 нейронами в промежуточном слое, обученная по методу Линде-Бузо-Грея.

Эффективность распознавания оценивали на двух разных версиях контрольной выборки – без искажений (шума, сдвига, теней) и с ними (рисунок 5).

Моделирование показало, что при распознавании разных цифровых изображений, эффективность нейросетевых элементарных классификаторов разная, некоторые элементарные классификаторы в определенных условиях не очень эффективны, но, работая совместно, они обладают высокой точностью. Необходимо выбирать такие элементарные классификаторы, которые «ошибаются» на различных входных данных или в разных подобластях пространства признаков.

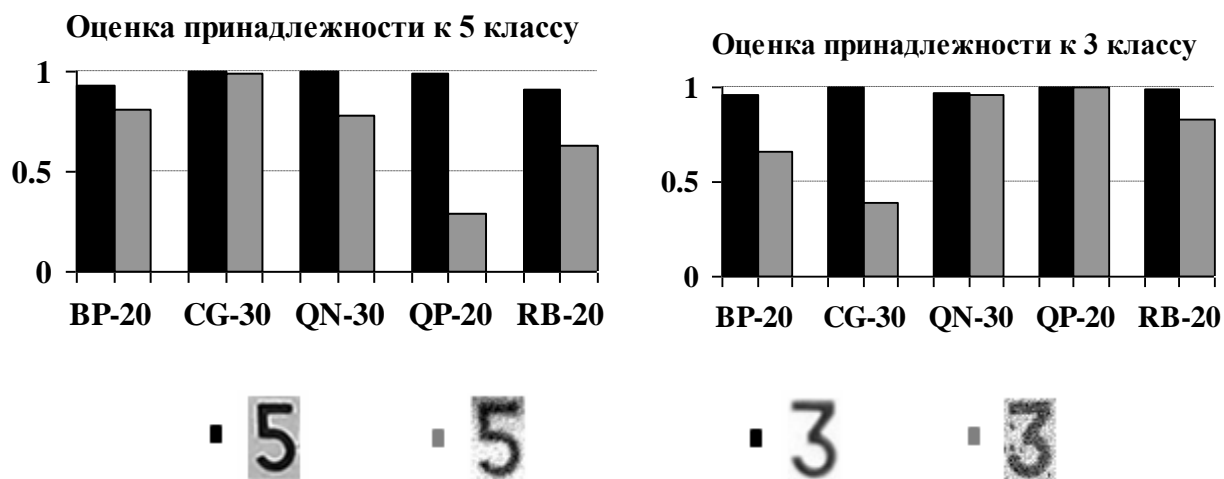


Рисунок 5 – Графики оценок принадлежности изображений классам

Библиографический список

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
2. Прототипный подход к построению автоматизированных экспертных систем с многоструктурным распознаванием сложных образов / В.Б. Трофимов // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 3. – С. 55 – 59.
3. Трофимов В.Б. Многоструктурный распознаватель состояний объекта управления // Современные научные исследования. Выпуск 3 - Концепт. - 2015. - ART 85730. - URL: <http://e-koncept.ru/2015/85730.htm> - ISSN 2304-120X.
4. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: Монография / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 223 с.
5. Обобщенная структура интеллектуальной системы управления технологическим объектом и опыт ее применения / В. Б. Трофимов, С. М. Кулаков // АВТОМЕТРИЯ. – 2011. – № 3 (Т. 47). – С. 132 – 140.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРУКТУР МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФРАКТАЛОВ¹

Мышляев Л.П., Циряпкина И.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Задача идентификации структур материалов при известном механизме (алгоритме) формирования структур или известных наборов фракталов, лежащих в основе структур, сводится к отысканию параметров алгоритма или коэффициентов фракталов. Однако к настоящему времени практически отсутствуют фундаментальные исследования по формированию структур материалов на основе фракталов или описание механизмов такого формирования.

Известны работы, когда натурные структуры описывались взвешенной комбинацией заранее выбранных фракталов [1, 2]. Недостаток такого подхода заключается в эвристическом, как правило слабо аргументированном, выборе аппроксимирующих фракталов.

В настоящем сообщении предлагается идентифицировать натурные структуры, подстраивая параметры алгоритма генерирования фракталов. Постановка задачи такой идентификации следующая.

Дано.

1) Механизм (алгоритм) формирования фракталов (множество Жюлиа) [3]

$$f(Z + 1) = Z^2 + C, \quad (1)$$

где $f(Z + 1)$ – динамический закон формирования фрактальной структуры;

Z – переменная величина;

C – параметр, $Z, C \in \mathbb{C}$.

$$C = p + j \cdot q; Z = x + j \cdot y \quad (2)$$

где p и q начальные коэффициенты (координаты) формирования фрактальной структуры;

x, y – координаты на комплексной плоскости;

$p, q, x, y \in \mathbb{C}$; j – мнимая единица;

2) Натурные структуры материалов

$$St_i; \quad i = \overline{1, I}, \quad (3)$$

где i – номер структуры;

I – количество структур.

3) Критерий идентификации

$$Q_{i,l} = \sum_{m;n;l=1}^{M,N,L} |St_i(m, n) - Fr_k(p, q)| \overline{p, q} \min, \quad (4)$$

где St_i – i -ая натурная структура;

Fr_k – k -ая фрактальная модель;

m, n – количество точек на изображении натурной структуры, $m \in \overline{1, M^{max}}$, $n \in \overline{1, N^{max}}$.

4) Начальные коэффициенты p и q принадлежат множеству Мандельброта, изображенного на рисунке 1, или лежат вблизи его границ.

¹ Работа поддержана грантом РФФИ по проекту № 15-07-02231.

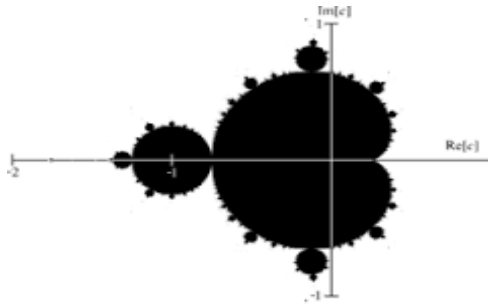


Рисунок 1 – Множество Мандельброта

Ограничения.

$M \in \overline{1, M^{max}}$, $N \in \overline{1, N^{max}}$, где M^{max} , N^{max} – размеры изображения натурной структуры.

Требуется.

Сформировать модельный фрактал таким образом, чтобы минимизировать критерий идентификации Q за счет варьирования начальными коэффициентами p и q .

Решение.

Программная реализация, уравнение (1) представлено в виде системы уравнений.

$$\begin{cases} Z_{k+1} = (x_k + j \cdot y_k)^2 + C \\ C = p + j \cdot q \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} x_{k+1} = x_k^2 - y_k^2 + p \\ y_{k+1} = 2 \cdot x_k \cdot y_k + q \end{cases} \quad (5)$$

где k – номер итерации.

Программа формирования фрактальной структуры «множества Жюлиа» (6) была выполнена на языке C#.

Реализация поисковых процедур на языке C#.

При поиске минимального значения Q использован метод Нелдера-Мида [4]. Блок-схема данного алгоритма приведена на рисунке 2. В качестве значения функции в вершинах симплекса берется значение критерия идентификации Q , сформированным с начальными коэффициентами p и q , равными координатам вершинам симплекса.

При идентификации натуральных структур с помощью метода Нелдера-Мида возможно нахождение не абсолютного минимума критерия идентификации Q , а его локального значения, так как поверхность отклика – многоэкстремальная.

Отыскивание всех минимумов Q и выбор глобального (абсолютного) минимума осуществляется за счет разбиения пространства поиска на отдельные области и определения значения Q для них.

Эффективность предложенного способа идентификации проверена на модельном примере для следующих условий. Постановка задачи.

Дано.

а) фрактальная структура с начальными коэффициентами $p=0$, $q=1$ (рисунок 3, а);

б) фрактальная структура с начальными коэффициентами $p=0$, $q=0,7$ (рисунок 3, б);

Механизм (алгоритм) формирования модельных фрактальных структур (формула 1).

Поисковый метод Нелдера-Мида.

Координаты начального симплекса для метода Нелдера-Мида: $A(-1,5;0)$, $B(0,5;0,5)$; $C(0,5; -0,5)$.

Заданная погрешность расчетов $\Delta Q=0,2$.

Ограничение.

$M \in \overline{1, M^{max}}$, $N \in \overline{1, N^{max}}$, где M^{max} , N^{max} – размеры изображения модельной структуры.

Требуется.

Идентифицировать заданные фрактальные структуры 1а и 1б.

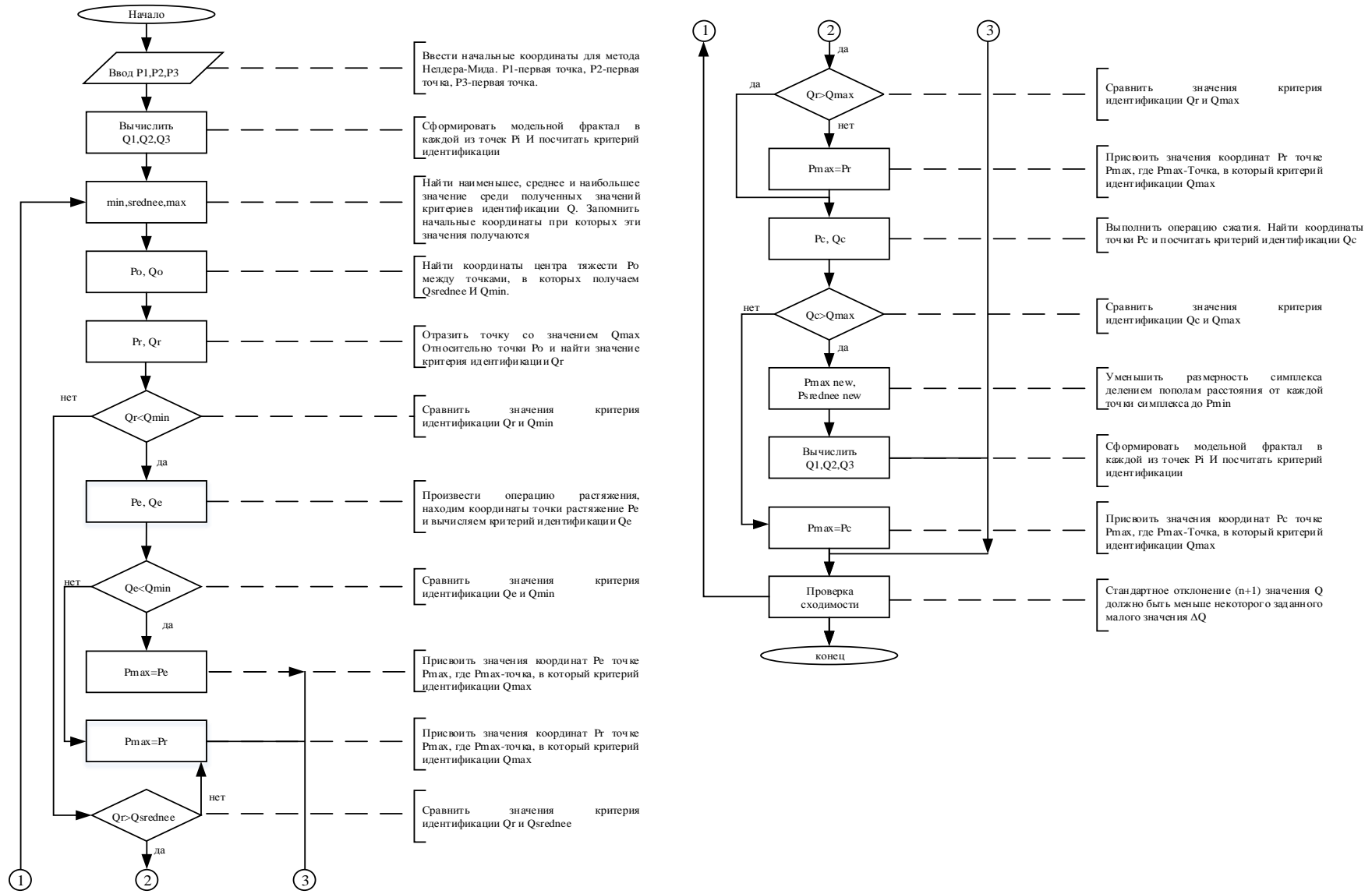


Рисунок 2 – Блок-схема метода Нелдера-Мида



Рисунок 3 – Фрактал: а – с начальными коэффициентами $p_n = 0$, $q_n = 1$;

б – с начальными коэффициентами $p=0$, $q=0,7$

Результаты решения.

Для структуры 1а оптимальные значения критерия Q получены при значениях коэффициентов p и q равных заданным. Для структуры 1б оптимальные значения критерия Q получены при значениях коэффициентов p и q равных исходным с заданной точностью ΔQ . Причем, конечные оценки коэффициентов были найдены после многократного применения поискового метода из разных областей поиска.

По результатам модельных исследований сделан вывод об эффективности предложенного метода идентификации и возможности его применения для идентификации натуральных структур.

Библиографический список

1. С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев, И.В. Циряпкина // К постановкам задач идентификации структур материалов фракталами. – Труды IX Всероссийской научно- практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» -Новокузнецк, 2013, С.400-403.
2. Старовацкая С.Н. Методы идентификации структур материалов фракталами./ С.Н. Старовацкая, И.В. Циряпкина, Л.П. Мышляев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2014-№3.-том 11.-С.290-293.
3. Пайтген Х.О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. / Х.О. Пайтген, П.Х. Рихтер : Пер. с англ. – М.:Мир ,1993,-176с.
4. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ.-М.: радио и связь, 1988.-128 с.:ил.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С АПРИОРНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Гусев С.С.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва*

Введение

Качество идентификации объекта управления в значительной степени определяет и качество управления сложным объектом. Большую роль при этом играет учет априорной информации о структуре и параметрах объекта.

Актуальность работы, посвященной разработке и исследованию алгоритмов идентификации объектов управления, обусловлена тем, что в современных системах управления используется модель объекта управления, а точность модели в большой степени определяет

точность и эффективность всей системы управления. Вопрос идентификации динамических объектов управления является актуальным еще и потому, что зачастую проектировщики обладают малой априорной информацией об объекте исследования, вследствие чего возникает необходимость определения оценок параметров объекта управления по имеющейся информации об объекте. При этом представляется, что информация об объекте содержит ошибки, которые могут быть как систематическими, частыми, редкими и другого вида. В данном конкретном случае в работе приводятся редкие ошибки измерения.

В настоящее время известны алгоритмы, использующие априорную информацию для идентификации класса линейных объектов, отличающихся разным видом помех. В данном конкретном случае рассматривается объект управления с редкими ошибками измерения. Однако точность прогнозирования параметров выходной переменной объекта управления с редкими ошибками измерения с использованием известных алгоритмов недостаточна. Сказанное подтверждает актуальность совершенствования методов и алгоритмов идентификации объектов управления использованием исходных экспериментальных данных.

Наличие априорной информации [4] об объекте управления характеризует структуру его модели и ее параметры. Как хорошо известно [5], в зависимости от априорной информации об объекте управления задачи идентификации разделяют на задачи в узком и широком смысле.

Задача идентификации в узком смысле состоит в оценивании параметров и состояния системы по результатам наблюдений над входными и выходными переменными, полученными в условиях функционирования объекта управления. При этом часто известна структура системы и задан класс моделей, к которому данный объект управления относится. Как хорошо известно, в этом случае априорная информация об объекте управления с редкими ошибками измерения должна быть достаточно большой.

При рассмотрении задачи идентификации в широком смысле априорная информация об объекте либо отсутствует, либо слишком мала. Поэтому приходится решать предварительно дополнительные задачи. Как хорошо известно, к таким задачам могут относиться выбор структуры системы и задание класса моделей, оценивание линейности объекта управления и действующих переменных, оценивание степени и формы влияния входных переменных на выходные и др.

На практике неизвестный объект редко рассматривается как «черный ящик». В большинстве случаев имеется априорная информация о свойствах объекта, которая следует из физических, технических, технологических и других условий. Эта информация существенно сужает область поисков неизвестных параметров объекта управления.

Если используется какая-либо известная процедура идентификации в результате которой по экспериментальным данным о входах и выходе объекта получены оценки его параметров, то можно проверить соответствие оценок априорным ограничениям объекта управления. То есть проверка производится после идентификации.

В статье исследуется работа специального алгоритма идентификации, учитывающего определенную информацию о параметрах. Исследуется работа алгоритма при наличии редких помех при измерении выхода. Анализируется связь точности идентификации и величины ошибки измерения.

Постановка задачи

Уравнение динамического объекта имеет следующий вид:

$$y(t) = \sum_{i=1}^a h_i x(t-i) + \sum_{i=1}^b h_{a+i} y(t-i), \quad (1)$$

где $y(t)$ – скалярный выход объекта в момент времени t ;

$x(t)$ – скалярный вход объекта в момент времени t ;

h_i – i -ый неизвестный параметр объекта;

a – глубина памяти по входу;

b – глубина памяти по выходу.

Требуется разработать процедуру определения по экспериментальным данным оценок параметров динамического объекта типа (1), учитывая при этом информацию соответствия модели объекту.

Уравнению (1) соответствует схема на рисунке 1.

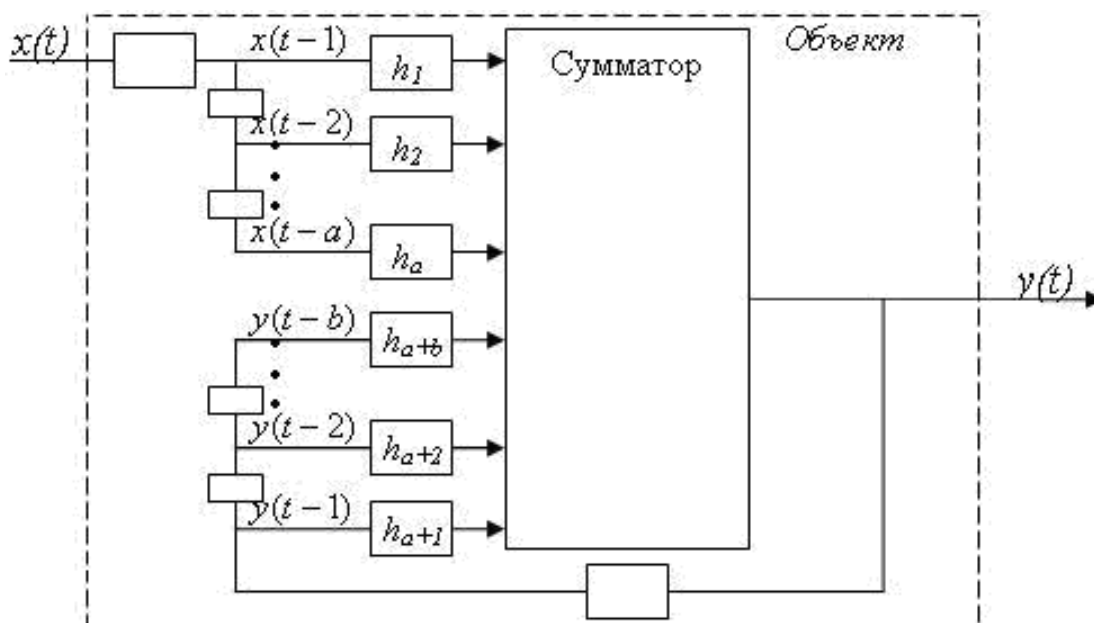


Рисунок 1 – Динамический объект с одной входной переменной $x(t)$ и выходной переменной $y(t)$

Модель объекта будем искать в виде:

$$y^*(t) = \sum_{i=1}^a k_i x(t-i) + \sum_{i=1}^b k_{a+i} y(t-i), \quad (2)$$

где $y^*(t)$ – оценка выхода объекта;

k_j – оценки неизвестных параметров h_j , где $j = 1, 2, \dots, n, n = a + b$.

Обозначим:

$X(t) = \begin{bmatrix} x(t-1) & x(t-2) & \dots & x(t-a+1) & x(t-a) \end{bmatrix}$ – вектор-строка входных переменных размерности a ,

$Y(t) = \begin{bmatrix} y(t-1) & y(t-2) & \dots & y(t-b+1) & y(t-b) \end{bmatrix}$ – вектор-строка выходных переменных размерности b ,

$H = \begin{bmatrix} h(1) & h(2) & \dots & h(a-1) & h(a) & h(a+1) & \dots & h(a+b-1) & h(n) \end{bmatrix}$ – вектор-строка неизвестных параметров объекта размерности n ,

$K = \begin{bmatrix} k(1) & k(2) & \dots & k(a-1) & k(a) & k(a+1) & \dots & k(a+b-1) & k(n) \end{bmatrix}$ – вектор-строка оценок неизвестных параметров объекта размерности n .

Введем вектор-строку $Z(t)$ размерности n .

$Z(t) = \begin{bmatrix} x(t-1) & x(t-2) & \dots & x(t-a) & y(t-1) & y(t-2) & \dots & y(t-b) \end{bmatrix}$.

В новых обозначениях уравнения объекта (1) и модели (2) примут вид

$$\begin{aligned} y(t) &= HZ^T(t), \\ y^*(t) &= KZ^T(t). \end{aligned}$$

Возможно и другое представление объекта (1) и модели (2).

Обозначим:

$H_1 = \begin{bmatrix} h(1) & h(2) & \dots & h(a) \end{bmatrix}$ – вектор-строка неизвестных параметров объекта размерности a ,

$H_2 = \begin{bmatrix} h(a+1) & h(a+2) & \dots & h(n) \end{bmatrix}$ – вектор-строка неизвестных параметров объекта размерности b ,

$K_1 = \begin{bmatrix} k(1) & k(2) & \dots & k(a) \end{bmatrix}$ – оценки параметров объекта при входных переменных $X(t)$,

$K_2 = \begin{bmatrix} k(a+1) & k(a+2) & \dots & k(n) \end{bmatrix}$ – оценки параметров объекта при выходных переменных $Y(t)$.

Тогда уравнения объекта (1) и модели (2) примут вид

$$y(t) = X(t)H_1^T + Y(t)H_2^T,$$

$$y^*(t) = X(t)K_1^T + Y(t)K_2^T.$$

Уравнение модели объекта будет иметь следующий вид

$$X(t-i)K_1^T + Y(t-i)K_2^T = Y(t),$$

Умножим левую и правую части уравнения модели объекта на $X^T(t-i)$. Получим уравнение следующего вида

$$X^T(t-i)X(t-i)K_1^T + X^T(t-i)Y(t-i)K_2^T = X^T(t-i)Y(t),$$

где $i=1, 2, \dots, n$.

Заданы экспериментальные данные в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные

| t | x | y |
|-----|--------|--------|
| 1 | $x(1)$ | $y(1)$ |
| 2 | $x(2)$ | $y(2)$ |
| ... | ... | ... |
| i | $x(i)$ | $y(i)$ |
| ... | ... | ... |
| s | $x(s)$ | $y(s)$ |

По экспериментальным данным, приведенным в таблице 1, известной структуре объекта (1) и априорной информации о принадлежности параметров объекта к области G необходимо получить оценки K параметров объекта.

Известно, что все измерения входа $x(t)$ производятся без ошибок, а среди некоторых измерений выхода $y(t)$ присутствуют ошибки, но где они располагаются – неизвестно.

Алгоритм идентификации

Для реализации алгоритма идентификации динамического объекта управления необходимо будет преобразовать данные, приведенные в таблице 1, к виду, в котором выход $y(t)$ зависел бы только от переменных в этой же строке, как это показано в таблице 2.

В таблице 2 приняты обозначения:

$$x_{ij}=x(t-j); t=1,2,\dots,s; j=1,2,\dots,a;$$

$$y_{im}=y(t-m); t=1,2,\dots,s; m=1,2,\dots,b.$$

А в строке заголовков:

$$x_j=x(t-j); j=1,2,\dots,a;$$

$$y_m=y(t-m); m=1,2,\dots,b.$$

Таблица 2 – Исходные данные, преобразованные для идентификации

| n | x_1 | x_2 | ... | x_a | y_1 | y_2 | ... | y_b | $y(t)$ |
|-----|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|----------|--------|
| 1 | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1n} | y_{11} | y_{12} | ... | y_{1n} | y_1 |
| 2 | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2n} | y_{21} | y_{22} | ... | y_{2n} | y_2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| i | x_{i1} | x_{i2} | ... | x_{in} | y_{i1} | y_{i2} | ... | y_{in} | y_i |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| s | x_{s1} | x_{s2} | ... | x_{sn} | y_{s1} | y_{s2} | ... | y_{sn} | y_s |

Таблице 2 соответствует матрица.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} & y_1 \\ 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ i & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} & y_{i1} & y_{i2} & \dots & y_{in} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_{s1} & y_{s2} & \dots & y_{sn} & y_s \end{pmatrix}.$$

Введем в рассмотрение матрицу A_0 , отличающуюся от матрицы A отсутствием первого столбца.

$$A_0 = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1a} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1b} & y_1 \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2a} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2b} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ia} & y_{i1} & y_{i2} & \dots & y_{ib} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sa} & y_{s1} & y_{s2} & \dots & y_{sb} & y_s \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Алгоритм идентификации состоит в следующем. Из матрицы исходных данных (3) выбираются блоки из произвольных n строк (по размерности объекта). Предполагается, что определители всех блоков не равны нулю. Для каждого блока составляется система уравнений. Ниже приведен первый из таких блоков:

$$\begin{aligned} k_1x_{11}+k_2x_{12}+\dots+k_ax_{1n}+k_{a+1}y_{11}+k_{a+2}y_{12}+\dots+k_ny_{1n}&=y_1 \\ k_1x_{21}+k_2x_{22}+\dots+k_ax_{2n}+k_{a+1}y_{21}+k_{a+2}y_{22}+\dots+k_ny_{2n}&=y_2 \\ k_1x_{i1}+k_2x_{i2}+\dots+k_ax_{in}+k_{a+1}y_{i1}+k_{a+2}y_{i2}+\dots+k_ny_{in}&=y_i \\ k_1x_{n1}+k_2x_{n2}+\dots+k_ax_{nn}+k_{a+1}y_{n1}+k_{a+2}y_{n2}+\dots+k_ny_{nn}&=y_n \end{aligned} \quad (4)$$

По этому блоку данных строится система нормальных уравнений

$$X^T(t)X(t)K_1^T + X^T(t)Y(t-i)K_2^T = X^T(t)Y(t),$$

где $t=1, 2, \dots, n$, и вычисляются МНК оценки K параметров объекта (1).

Из матрицы (3) можно получить C_s^n таких n -мерных блоков, для каждого из которых строится свой вектор оценок параметров объекта (1).

Таблица 3 – Результаты идентификации по всем возможным n -мерным блокам

| № | Набор из любых n строк | | | | Оценки параметров | | | | | | | |
|-----|--------------------------|----------|-----|----------|-------------------|----------|-----|----------|--------------|--------------|-----|----------|
| | n_1 | n_2 | ... | n_n | k_1 | k_2 | ... | k_a | k_{a+1} | k_{a+2} | ... | k_n |
| 1 | a_{11} | a_{12} | ... | a_{1n} | k_{11} | k_{12} | ... | k_{1a} | $k_{1(a+1)}$ | $k_{1(a+2)}$ | ... | k_{1n} |
| 2 | a_{21} | a_{22} | ... | a_{2n} | k_{21} | k_{22} | ... | k_{2a} | $k_{2(a+1)}$ | $k_{2(a+2)}$ | ... | k_{2n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| i | a_{i1} | a_{i2} | ... | a_{in} | k_{i1} | k_{i2} | ... | k_{ia} | $k_{i(a+1)}$ | $k_{i(a+2)}$ | ... | k_{in} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L | a_{L1} | a_{L2} | ... | a_{Ln} | k_{L1} | k_{L2} | ... | k_{La} | $k_{L(a+1)}$ | $k_{L(a+2)}$ | ... | k_{Ln} |

Таблице 3 соответствует матрица B , содержащая C_s^n строк и $2n$ столбцов и имеющая

вид

$$B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1a} & k_{1(a+1)} & k_{1(a+2)} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2a} & k_{2(a+1)} & k_{2(a+2)} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{L1} & a_{L2} & \dots & a_{Ln} & k_{L1} & k_{L2} & \dots & k_{La} & k_{L(a+1)} & k_{L(a+2)} & \dots & k_{Ln} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $L = C_s^n$.

В каждой строке матрицы B в первых n позициях перечислены номера строк a_{ij} матрицы A (i – номер строки матрицы B , j – номер строки матрицы A), использованные для вычисления n оценок k_{ij} таблицы 3, вычисленных по этим строкам и расположенных в (4) на последних n позициях. Априорное условие (3) учитывается путем вычеркивания из (4) всех строк, в которых оценки k не удовлетворяют условию

$$k \in G,$$

где $k_i = \|k_{i1} k_{i2} \dots k_{in}\|$, $i=1, 2 \dots L$.

В результате после вычеркивания N строк из матрицы B получим матрицу

$$B_0 = \left\| \begin{array}{cccccccccccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1a} & k_{1(a+1)} & k_{1(a+2)} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2a} & k_{2(a+1)} & k_{2(a+2)} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nn} & k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{Na} & k_{N(a+1)} & k_{N(a+2)} & \dots & k_{Nn} \end{array} \right\|, k_i \in G,$$

где $N \leq L$.

Введем вектор частоты w , размерности s , имеющий вид

$$w = \|w(1) w(2) \dots w(s)\|,$$

где $w(j)$ – частота использования номера j -ой строки матрицы A в матрице B_0 (напомним, в матрице B_0 элементы a_{ij} – номера строк матрицы A).

Введем новую матрицу F , отличающуюся от A тем, что в нее добавлен вектор-столбец w

$$F = \left\| \begin{array}{cccccccccccc} w(1) & 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} & y_1 \\ w(2) & 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w(i) & i & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} & y_{i1} & y_{i2} & \dots & y_{in} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w(s) & s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_{s1} & y_{s2} & \dots & y_{sn} & y_s \end{array} \right\|.$$

Последний шаг алгоритма состоит в том, что строки матрицы F сортируются по первому столбцу так, что значения w возрастали снизу вверх. Оператор, реализующий описанный алгоритм, обозначим через Ψ . Полученную таким образом матрицу, учитывающую априорные условия $k_i \in G$, обозначим через F_0 . Это можно будет записать так:

$$F_0 = \Psi\{A\}, k_i \in G.$$

Некоторые свойства оператора Ψ , позволяющие существенно увеличить точность идентификации заключаются в том, что отличительной особенностью приведенного выше алгоритма является наличие дополнительного вектора частоты w , по которому сортируются строки, представляя новую матрицу F , которая отличается от матрицы A тем, что в нее добавлен столбец, включающий вектор частоты w . Строки матрицы F сортируются по первому столбцу так, чтобы значения $w(j)$ возрастали снизу вверх.

Алгоритмы идентификации класса динамических объектов управления с редкими ошибками

1) *Пример алгоритма идентификации для класса динамических объектов управления с редкими ошибками измерения*

Примером исследуемого алгоритма идентификации для класса динамических объектов управления с редкими ошибками измерения может быть использован алгоритм идентификации динамического объекта работы Чадаева–Илюшина, приведенный в работе [8].

В работе [8] рассматривается алгоритм идентификации, учитывающий априорную

информацию о параметрах. Исходные экспериментальные данные из пространства входов-выходов преобразуются в пространство оценок параметров. В пространстве параметров выделяется множество оценок, удовлетворяющих априорным ограничениям. На этом множестве по вероятностному критерию строятся оценки параметров. Приводится пример, иллюстрирующий эффективность предлагаемой процедуры.

2) Сравнение алгоритма динамического объекта с редкими ошибками измерения с приведенным алгоритмом для данного класса объектов

Отличительной особенностью выбранного для сравнения алгоритма Чадеева–Илюшина с алгоритмом динамического объекта с редкими ошибками измерения является то, что алгоритмы схожи по своей структуре и математическому описанию, за исключением отсутствия вектора частоты w (частоте упоминания строк) в алгоритме Чадеева–Илюшина по сравнению с алгоритмом динамического объекта с редкими ошибками измерения. Вектор-столбец частоты w в алгоритме динамического объекта с редкими ошибками измерения идентификации позволяет структурировать матрицу с исходными данными по частоте упоминания строк, что позволяет отсеивать нижние строки матрицы, которые являются малоинформативными, тем самым сокращая число строк в матрице, количество всевозможных переборov из оставшихся строк в усеченной матрице и, соответственно, сокращает время перебора «хороших» строк. Этой положительной особенностью не обладают другие алгоритмы идентификации динамических объектов. Можно сказать, что алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения является своего рода продолжением развития алгоритма Чадеева–Илюшина. Поэтому излагать математические итерации алгоритма Чадеева–Илюшина, подобные тем, которые приведены в статье для алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения, нет смысла, так как результаты расчетов будут отличаться незначительно для обоих алгоритмов, представленных в [8] и [6].

Использование алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения на практике показывает, что автор настоящей статьи, разработавший алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения, внес существенные изменения в возможности точного определения идентификации параметров объекта, в том числе и частоту w – частоту упоминания строк в блоке преобразованных исходных данных, которая позволяет существенно увеличить точность расчета совпадения оценок, которые и будут точными параметрами объекта.

Эти небольшие изменения в алгоритме идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения, во-первых, отличают его от других алгоритмов, а во-вторых, позволяют получать точные параметры объекта управления. Это позволяет существенно повысить быстродействие точного определения параметров объекта управления, что подтверждается доказательством теоремы об условии возможности точного определения параметров объекта управления.

3) Выводы по результатам исследования

Результаты исследований уже существующих алгоритмов идентификации для класса динамических объектов управления с алгоритмом идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения показывают, что разработанный алгоритм идентификации для класса динамических объектов с редкими ошибками измерения показывает лучшие результаты в возможности точного определения параметров объекта управления для данного класса объектов. Алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения подходит для решения задач, связанных с классом динамических объектов управления с редкими ошибками измерения.

Заключение

В работе рассмотрен алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения. Показано, что при использовании алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения возможно точное определение неизвестных параметров динамического объекта при условиях, которые найдены в докладе. Иссле-

дуются работа алгоритма идентификации при наличии помехи при измерении выхода. При этом рассмотренный алгоритм идентификации при соблюдении некоторых условий дает возможность по экспериментальным данным точно определить неизвестные параметры h объекта исследования, как показано в таблице 4 при приведении доказательства теоремы о редких ошибках измерения – возможности точного определения параметров объекта управления. Также в работе анализируется связь точности идентификации и величины ошибки измерения. Доказано, что совпадающие оценки и будут точными параметрами объекта при условии возможности точного определения параметров объекта управления.

Библиографический список

1. Кендалл М.Дж., Стьюард А. Статистические выводы и связи. – М.: Изд-во Наука, 1973. – 896 с.
2. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Изд-во 2, стерео., 1975. – 648 с.
3. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – М.: Изд-во Физматгиз, 1962. – 349 с.
4. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. – М., «Энергия», 1975. – 376 с.
5. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.
6. Чадеев В.М., Гусев С.С. Построение динамической модели для прогноза критического теплового потока по экспериментальным данным // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №8. – С. 3–6.
7. Чадеев В.М., Илюшин В.Б. Метод идентификации, учитывающий априорную информацию о параметрах объекта // Труды V Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '06. Москва, 30 января – 2 февраля 2006 г. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006. – С. 1091–1105.
8. Чадеев В.М., Илюшин В.Б. Алгоритм идентификации динамических объектов с учетом априорной информации о параметрах // Автоматика и телемеханика. – 2006. – №7. – С. 133–143.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ¹

Евтушенко В.Ф., Мышляев Л.П., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Буркова Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой»,
г. Новокузнецк, Россия*

Физические модели технологических объектов и, соответственно, системы управления этими моделями – модельные системы управления (МСУ), часто применяют при проектировании новых, не имеющих натуральных аналогов, технологических объектов и систем управления. Их используют, например, при решении задач выбора оптимальных технологических режимов объекта управления, испытания, настройки систем управления и оценки их эффективности. Действующие МСУ целесообразно использовать и при *исследовании натуральных объектов и систем управления (НСУ) в процессе их эксплуатации.*

Такое исследование будет эффективным, если обеспечено подобие НСУ и МСУ. В настоящее время практически отсутствуют, за редким исключением [2 – 9], работы по подобию систем управления. В [2] выделено два возможных класса систем управления с использованием физической модели управляемого объекта. Их общим свойством является

¹ Работа поддержана грантом РФФИ, проект № 15-07-01972.

наличие взаимодействующих друг с другом натурной и модельной систем управления, но способ их взаимодействия принципиально отличен. При решении различного рода задач исследования НСУ с применением МСУ целесообразно использовать класс систем [2], когда натурная и модельная системы управления функционируют параллельно, а результаты выработки модельных воздействий после их соответствующего пересчета на условия НСУ дают основания для выводов о свойствах НСУ и выработки мероприятий по их совершенствованию.

Процедура исследования НСУ с применением МСУ предусматривает выполнение следующих операций.

1. *Оценивание подобия и степени подобия систем управления* осуществляется в блоке 1 алгоритма и базируется на двух, изложенных ниже утверждениях [2].

Утверждение 1. Системы управления подобны, если их функционирование характеризуется точным или приближенным равенством значений целевых показателей (критериев) эффективности управления.

Условия подобия систем управления, удовлетворяющие утверждению 1, можно записать в виде

$$\delta Q_{jl}^H \{(i-N), i\} = \left| Q_j^H \{(i-N), i\} - Q_l^H \{(i-N), i\} \right| \leq \delta Q_{jl}^{H*}; \quad j \neq l; \quad j = \overline{1, L}; \quad l = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где $Q_j \{(i-N), i\}$ и $Q_l \{(i-N), i\}$ – значения целевых показателей эффективности функционирования на заданном интервале N дискретного времени i , соответственно, j -й и l -й систем управления; δQ_{jl}^* – величина, определяющая предельно допустимый (заданный) порог близости показателей Q_j и Q_l , при котором эффективность этих систем управления считается одинаковой; L – число систем управления; надстрочный индекс "н" означает «нормированное значение». Исходные значения целевых показателей Q_j и Q_l , сформированные, в частности, преобразованием значений выходных переменных систем управления, могут иметь для разных систем (j -й и l -й) различные масштаб изменения и размерность. Для того чтобы воспользоваться соотношением (1), требуется их предварительное нормирование с целью приведения сравниваемых значений в безразмерную форму и к единому масштабу изменения.

Удобной формой нормирования является выражение

$$Q^H \{(i-N), i\} = \frac{Q \{(i-N), i\} - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}, \quad (2)$$

где Q_{\max} и Q_{\min} – соответственно, минимальное и максимальное значения целевых критериев функционирования систем управления.

Значения целевых показателей эффективности, например, среднеквадратической ошибки управления, целесообразно рассчитывать на текущем интервале N дискретного времени i в соответствии с рекуррентным выражением вида

$$Q_l \{(i-N), i\} = Q_l \{(i-N-1), i-1\} + \alpha_Q \left\{ \left[Y_l(i) - Y_l^*(i) \right]^2 - Q_l \{(i-N-1), i-1\} \right\}; \quad l = \overline{1, L}, \quad (3)$$

где Y и Y^* – значения выходного и задающего воздействий в l -й системе управления; α_Q – весовой коэффициент.

При оперативном оценивании подобия систем управления желательно для практических приложений применять более простые по сравнению с (1) условия, не требующие использования конкретных значений целевых показателей эффективности систем управле-

ния. К ним можно отнести такие, которые основаны на известных значениях характеристик системы и отдельных ее элементов, в том числе и внешних воздействий. В частности, для динамической системы регулирования по отклонению в [11] предложен квазиоптимальный в смысле среднеквадратической ошибки регулятор. В предположении, что приведенные к выходу объекта возмущения описываются автокорреляционной функцией, спадающей по экспоненте, а модель регулирующего канала представлена последовательным соединением инерционного звена первого порядка с звеном чистого запаздывания, условия подобия таких систем регулирования можно записать в виде

$$\left| \sqrt{\sigma_{np1}^2 (1 - e^{-2\alpha_1 \tau_1})} - \sqrt{\sigma_{np2}^2 (1 - e^{-2\alpha_2 \tau_2})} \right| \leq 0,05. \quad (4)$$

где τ_1 ; τ_2 – время чистого запаздывания для первого и второго объекта;

σ_{np1}^2 ; σ_{np2}^2 ; α_1 и α_2 – значения дисперсии и коэффициента автокорреляционной функции приведенного к выходу возмущения.

При выполнении условий (1) или, в частности, (3) осуществляется переход в алгоритмический блок 3 «Согласования выходных воздействий натурального объекта и его физической модели». В противном случае рассчитывается степень подобия рассматриваемых систем управления. В основу расчета степени подобия, с помощью которого количественно оценивают близость МСУ и НСУ друг к другу с точки зрения их подобия, положено утверждение 2.

Утверждение 2. Под степенью подобия систем управления будем понимать количественную меру близости характеристик критериев эффективности управления этими системами [2].

Количественно степень подобия можно оценить, во-первых, мерой разности $\delta Q_{jl}^H \{(i-N), i\}$, полученной по соотношению (1) в безразмерной форме, которая и будет в долях или процентах характеризовать близость целевых критериев систем управления.

Во-вторых, такой количественной мерой может служить также коэффициент корреляции между целевыми показателями, отражающими эффективность функционирования этих систем. Аналогичный показатель лежит в основе метода коррелированных процессов, изложенного в [12], где предлагается осуществлять «установление степени соответствия исходной и упрощенной систем ... по корреляционным моментам статистических значений вероятностных характеристик» этих систем. Значения коэффициента корреляции $r_{jl}[(i-N), i]$ как меры близости характеристик (целевых критериев) на заданном интервале N дискретного времени i , соответственно, j -й и l -й систем управления можно оценить с помощью следующих выражений

$$r_{jl}[(i-N), i] = \frac{R_{jl}[(i-N), i]}{\sigma_j[(i-N), i] \cdot \sigma_l[(i-N), i]}; \quad l \neq j; \quad j = \overline{1, L}; \quad l = \overline{1, L}; \quad (5)$$

$$R_{jl}[(i-N), i] = R_{jl}[(i-N-1), i-1] + \alpha_r \{ \delta Q_j(i-N), i \} \cdot [\delta Q_l(i-N), i] - R_{jl} \{ (i-N-1), i-1 \} \}; \quad (6)$$

$$\sigma^2[(i-N), i] = \sigma^2[(i-N-1), i-1] + \alpha_\sigma \{ [\delta Q(i-N), i]^2 \cdot \sigma^2 \{ (i-N-1), i-1 \} \}; \quad (7)$$

$$\delta Q[(i-N), i] = Q[(i-N), i] - \overline{Q}[(i-N), i]; \quad (8)$$

$$\overline{Q}[(i-N), i] = \overline{Q}[(i-N-1), i-1] - \alpha_c \{ Q[(i-N), i] - \overline{Q}[(i-N), i] \}; \quad (9)$$

где $R_{jl}[(i-N), i]$ – корреляционный момент целевых показателей на интервале N дискретного времени j -й и l -й систем управления;

$\sigma^2[(i-N), i]$ – дисперсия значений целевого критерия системы управления, оцененная на интервале времени N ;

$\bar{Q}[(i-N), i]$ – среднее на интервале времени N значение целевого показателя системы управления;

α_r ; α_σ ; α_c – весовые коэффициенты.

Для рассматриваемого случая расчета степени подобия натурной и модельной систем управления $L = 2$.

Если значение степени подобия МСУ и НСУ, рассчитанное по соотношениям (5) – (9), соответствует неравенству

$$r_{jl}^{\min} \leq r_{jl}[(i-N), i] \geq r_{jl}^* , \quad (10)$$

где r_{jl}^{\min} ; r_{jl}^* – минимальное значение меры близости системных (целевых) критериев на интервале времени N дискретного времени и ее заданное значения, то, во-первых, подтверждается отсутствие подобия систем и, во-вторых, оценивается возможность достижения такого подобия за счет последующего целенаправленного изменения свойств физической модели и (или) ее воздействий.

2. *Управление подобием систем управления* связано с целенаправленным воздействием на модельную систему, изменяя динамические свойства физической модели объекта управления или (и) свойства ее воздействий с целью выполнения условий подобия. Один из возможных вариантов системы управления подобием МСУ и НСУ приведен в [4], где в системе управления подобием реализуются, в частности, функции расчета и масштабирования приведенных возмущений натурального объекта управления и его физической модели, оценивания нестационарности натурального объекта управления и степени подобия натурной и модельной систем управления и непосредственно управления их подобием.

3. *Согласование значений выходных воздействий и переменных состояния натурального объекта и его физической модели.* Натурный объект управления и его физическая модель функционируют в различных координатных и временных масштабах. Поэтому для эффективного функционирования системы необходимо наряду с подобием натурной и модельной систем управления согласовать между собой траектории изменения выходных воздействий и переменных состояния натурального объекта и его физической модели. Такое согласование можно обеспечить за счет преобразования значений выходных воздействий $Y_j^o(i)$ и переменных состояния $S_j^o(i)$ j -го объекта управления, представленных в виде $Z_j^o(i) = \{Y_j^o(i); S_j^o(i)\}$, в частности, с помощью функции масштабирования $F_M^Z\{\cdot\}$, в масштаб изменения значений выходных воздействий физической модели $Z_j^{o\phi}(i)$

$$Z_j^{o\phi}(i) = F_M^Z\{Z_j^o(i)\} \quad (11)$$

Полученные в результате преобразования (11) значения $Z_j^{o\phi}(i)$ изменяются в одном и том же диапазоне значений и масштабе времени, что и значения $Z_j^o(i)$ физической модели.

4. *Корректировка начальных условий физической модели.* Для того чтобы исследуемый объект управления и его физическая модель в начале исследований имели одинаковые

начальные условия, значения $Z_j^{o\phi}(i_0)$ и $Z_j^\phi(i_0)$, где i_0 – время начала исследований, сравниваются между собой и рассчитывается их отклонение

$$\delta Z_j^k(i_0) = Z_j^{o\phi}(i_0) - Z_j^\phi(i_0) \quad (12)$$

Если $\delta Z_j^k(i_0) \neq 0$, то осуществляется расчет и реализация корректирующих управляющих воздействий $\delta U_j^{\phi k}(i_0)$

$$\delta U_j^{\phi k}(i_0) = f^k \{ \delta Z_j^k(i_0) \}, \quad (13)$$

где $f^k \{ \cdot \}$ – алгоритм корректирующего управления начальными условиями физической модели (для j -го объекта управления) с целью приведения значений ее выходных воздействий и переменных состояния $Z_j^{\phi k}(i_0)$ до уровня, соответствующего (с точностью до погрешностей контроля и исполнения управляющих команд) значениям натурального объекта.

5. *Оценивание натуральных и модельных значений приведенных к выходу возмущений.* После корректировки начальных условий и приведения физической модели в состояние, эквивалентное (с учетом масштабных преобразований) состоянию натурального объекта, физическая модель функционирует в ускоренном по отношению к реальному объекту масштабе времени. Выработка управляющих воздействий $U_j^\phi(i)$ осуществляется для j -го объекта управления с использованием предварительно согласованных в блоке 5 данных об изменении $Y_j^\phi(i)$, $S_j^\phi(i)$, $W_{kj}^\phi(i)$, а также с учетом приведенных к выходу физической модели возмущений $\delta Y_{j,пр}^\phi(i)$. Оценивание и корректировка последних осуществляется по следующей схеме.

Первоначально в блоке расчета приведенных возмущений физической модели на основе значений о ее воздействиях $Y_j^\phi(i)$, $S_j^\phi(i)$, $W_{kj}^\phi(i)$, $U_j^\phi(i)$, а также значений

$\delta U_j^k(i_0)$ осуществляется расчет $\delta Y_{j,n}^\phi(i)$ в соответствии со следующим выражением

$$\begin{aligned} \delta Y_{j,np}^\phi(i) = & Y_j^\phi(i) - Y_{j0}^\phi(i) - \varphi_s^\phi \{ \delta S_j^\phi(i) \} - \\ & - \varphi_u^\phi \{ \delta U_j^\phi(i) \} - \varphi_w^\phi \{ \delta W_{jk}^\phi(i) \} - \varphi_u^\phi \{ \delta U_j^{\phi k}(i_0) \} \end{aligned} \quad (14)$$

где $Y_{j0}^\phi(i)$ – опорный уровень выходных воздействий физической модели j -го объекта; $\varphi_s^\phi \{ \cdot \}$; $\varphi_u^\phi \{ \cdot \}$; $\varphi_w^\phi \{ \cdot \}$ – математические модели каналов преобразования физической модели, отражающие влияние отклонений состояний $\delta S_j^\phi(i) = S_j^\phi(i) - S_{j0}^\phi(i)$, управляющих воздействий, в том числе и корректирующих $\delta U_j^\phi(i_j) = U_j^\phi(i) - U_{j0}^\phi(i)$, контролируемых возмущений $\delta W_{jk}^\phi(i) = W_{jk}^\phi(i) - W_{jk0}^\phi(i)$ (относительно их соответствующих опорных уровней $S_{j0}^\phi(i)$, $U_{j0}^\phi(i)$, $W_{jk0}^\phi(i)$) в соответствующие отклонения выходных воздействий физической модели $\delta Y_{js}^\phi(i)$; $\delta Y_{ju}^\phi(i)$; $\delta Y_{jw}^\phi(i)$. При этом предполагается, что $Y_j^\phi(i) = Y_{j0}^\phi(i) + \delta Y_{js}^\phi(i) + \delta Y_{ju}^\phi(i) + \delta Y_{jw}^\phi(i)$, а $\delta Y^\phi(i_j) = \varphi_u^\phi \{ \delta U_j^\phi(i) + \delta U_j^{\phi k}(i_0) \}$.

Аналогичным образом при расчете приведенных к выходу натурального объекта возмущений на основе данных о $Y_j^o(i_j)$, $S_j^o(i)$, $W_{jk}^o(i)$, $U_j^o(i)$ и математических моделей $\varphi_s^o\{\cdot\}$; $\varphi_u^o\{\cdot\}$; $\varphi_w^o\{\cdot\}$, каналов преобразования отклонений переменных состояния $\delta S_j^o(i)$, управляющих воздействий $\delta U_j^o(i)$ и контролируемых возмущений $\delta W_{jk}^o(i)$, в отклонения выходных воздействий рассчитываются приведенные к выходу натурального объекта возмущения $\delta Y_{j,n}^o(i)$ по следующему выражению

$$\delta Y_{j,n}^o(i) = Y_j^o(i_j) - Y_{j0}^o(i_j) - \varphi_s^o\{\delta S_j^o(i)\} - \varphi_u^o\{\delta U_j^o(i)\} - \varphi_w^o\{\delta W_{jk}^o(i)\} \quad (15)$$

6. *Преобразование и корректировка модельных значений приведенных возмущений*. Полученные по выражению (15) значения приведенных возмущений натурального объекта управления преобразуются с помощью функции масштабирования $F_M^y\{\cdot\}$ в значения $\delta Y_{j,n}^{o\phi}(i)$, которые отражают изменение приведенного возмущения натурального объекта в масштабе выходного воздействия физической модели

$$\delta Y_{j,n}^{o\phi}(i_j) = F_M^y\{\delta Y_{j,n}^o(i)\} \quad (16)$$

Они корректируются с учетом предварительно рассчитанных по выражению, аналогичному (15), значений сигнала $\delta Y_{j,n}^{\phi}(i_j)$, формируя тем самым скорректированные значения приведенных к выходу физической модели возмущений

$$\delta Y_{j,пр}^{\phi\kappa}(i) = F_{\kappa}^{\phi\kappa}\{\delta Y_{j,пр}^{\phi}(i)\}; \quad \delta Y_{j,пр}^{o\phi}(i) \quad (17)$$

где $F_{\kappa}^{\phi\kappa}\{\cdot\}$ – корректирующий оператор. Скорректированные значения отражают характер изменения приведенных к выходу натурального объекта возмущений в масштабе изменения выходных воздействий физической модели, в том числе и с учетом изменений ее начальных условий.

Реализация в алгоритмических блоках 1 – 6 вычислительных операций позволяет привести систему управления физической моделью в состояние, подобное натурной системы. Причем ее информационное отображение, включающее траектории изменения управляющих $U_j^{o\phi}(i)$, контролируемых внешних $W_{kj}^{o\phi}(i)$, выходных $Y_j^{o\phi}(i)$ воздействий и переменных состояния $S_j^{o\phi}(i)$, а также скорректированных траекторий приведенных к выходу возмущений $\delta Y_{j,n}^{o\phi}(i)$ будут согласованы с соответствующими траекториями входных $U_j^o(i)$, $W_{kj}^o(i)$, выходных $Y_j^o(i)$ воздействий, переменных состояния $S_j^o(i)$ и приведенных возмущений $\delta Y_{j,n}^o(i)$ натурального объекта. Это дает основание использовать на НСУ после соответствующего пересчета полученные на МСУ результаты проведенных исследований.

В частности, если конкретная задача исследования связана с оптимизацией технологического режима, то полученные в процессе ее решения оптимальные по заданному кри-

терию траектории модельных воздействий пересчитываются в масштаб изменения значений соответствующих воздействий натурального объекта, например, с использованием функций масштабирования, обратных по отношению к (11). Пример практического решения такой задачи приведен в [13], где аналогичная процедура была реализована применительно к управлению процессом термоциклической обработки изделий из малоуглеродистой стали с использованием физической модели. Последняя представляла собой малоразмерную индукционную нагревательную установку малой мощности, в которой нагревались модельные стальные изделия.

Библиографический список

1. Красовский А.А. Оптимальное управление посредством физической прогнозирующей модели. / А.А. Красовский. // Автоматика и телемеханика. – 1979, – № 2. – С. 156–162.
2. Подобие систем управления с прогнозирующими физическими моделями / В.Ф. Евтушенко, С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Труды IX Всероссийской научно – практической конференции. / Под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева; Сиб. гос. индустр. ун–т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 32-38.
3. Мышляев Л.П. Понятия и условия подобия систем управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко Д.Г. Березин, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, – 2012, – №12, – С. 56-58.
4. Евтушенко В.Ф. Подобие систем управления с прогнозирующими физическими моделями / В.Ф. Евтушенко, С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Труды IX Всероссийской научно – практической конференции. / Под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева; Сиб. гос. индустр. ун–т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013.– С. 32–38.
5. Simulation of Control Systems / L.P. Myshlyaev, V.F. Evtushenko, D.G. Beresin, G.V. Makarov, K.A. Ivushkin. // Steel in Translftion, – 2012. Т 42. № 12.
6. Мышляев Л.П. Применение физических моделей в схемах натурно-математического моделирования / В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев, С.Р. Зельцер, К.Г. Венгер, М.Г. Чичиндаев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия,- 2010. - N 11. - С. 65-67.
7. Мышляев Л.П. О подобии натурной и модельной систем при управлении с физической прогнозирующей моделью / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, К.А. Ивушкин, Г.В. Макаров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, – 2013, №12, С. 40-42.
8. О подобии систем в задачах управления нестационарными объектами / В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев, В.О. Дмитриев, Г.В. Макаров // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : тр. IX Всерос. науч.-практ. конф., под ред. д.т.н. проф. С.М. Кулакова, д.т.н. проф. Л.П. Мышляева ; СибГИУ. - Новокузнецк, 2013. – С. 58–62.
9. Макаров Г.В Численные исследования подобия систем регулирования по контролируемым возмущениям / Г.В. Макаров, В.Ф. Евтушенко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2012, №12, – С. 65-66.
10. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. / В.А. Веников. М.: Высшая школа. 1976. – 479 с.
11. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В.Я. Ротач. М.: Энергия, 1973. – 439 с.
12. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. / В.Н. Пугачев. М.: Сов. Радио, 1973. – 256 с.
13. Старовацкая С.Н. Управление траекторией термической обработки стали с использованием физической модели / С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия,- 2012. - N 12. - С. 61-62.

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОГО ХОЛДИНГА

Шишкина С.В.¹, Приступа Ю.Д.¹, Фрянов В.Н.², Павлова Л.Д.²

¹ОАО «СУЭК-Кузбасс»,

г. Ленинск-Кузнецкий, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведено обоснование структуры системы управления социальной безопасностью на транспорте, идентифицированы адаптивные к транспортным объектам модели управления социальной безопасностью в сложных технологических и организационных системах, обоснована актуальность создания системы управления социальной безопасностью погрузочно-транспортных предприятий угледобывающего региона.

Ключевые слова: социальная безопасность, охрана труда, инфраструктура жизнеобеспечения, транспорт, авария, инцидент, риск.

Под социальной безопасностью следует понимать совокупность мер и реализованных управляющих решений по защите интересов персонала и инфраструктуры жизнеобеспечения объектов управления посредством мониторинга, прогноза и профилактики предаварийных ситуаций на опасном производственном объекте с минимизацией рисков возникновения аварий и инцидентов. К опасным производственным объектам относятся погрузочно-транспортные предприятия (ПТП), осуществляющие в структуре угольного холдинга процессы и операции по транспортировке угля на путях необщего пользования и отправке эшелонов потребителям на станции примыкания к путям Российской железной дороги (РЖД). Основными видами производственной деятельности ПТП является оказание погрузочно-разгрузочных и транспортно-экспедиционных услуг, выполняемых для шахт, разрезов, обогатительных фабрик, а также текущий ремонт и наладка собственных технических устройств, текущее содержание и ремонт железнодорожных путей [1].

По структуре и функциям ПТП является сложной целостной социально-экономической системой. Социальная безопасность предприятия рассматривается как подсистема со своим входом, выходом, обратными связями, внешними воздействиями.

Основными целями управления социальной безопасностью в структуре ПТП являются:

- исключение противоречивости целей подсистем управления, в том числе между основным производством и персоналом;
- поиск путей достижения успеха при целенаправленном взаимодействии персонала с объектами инфраструктуры;
- обеспечение адаптивности работы предприятия к внешним воздействиям, в том числе к неравномерным потокам сырья, продукции и инвестиций;
- использование внутренних ресурсов предприятия и компетентности персонала;
- обеспечение эффективности обратных связей и информационных потоков.

Для достижения указанных целей необходимо разработать подсистему управления социальной безопасностью, включающую модели прогноза управляющих решений и механизмы их реализации для непрерывного обеспечения эффективной производственной деятельности ПТП при безопасных условиях труда.

Подсистема управления социальной безопасностью может быть создана на основе результатов решения следующих задач:

- 1) разработка структуры и обоснование функций подсистемы управления социальной безопасностью ПТП угледобывающих компаний;

2) разработка модели и механизма управления социальной безопасностью ПТП угледобывающих компаний;

3) реализация модели и механизма управления социальной безопасностью ПТП угледобывающей компании.

В соответствии с Федеральным Законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2] к категории опасных производственных объектов относятся «...предприятия или их цехи, участки площадки, а также иные производственные объекты...», указанные в Приложении 1 [2]. Классы опасности, соответствующие технологическим процессам и оборудованию ПТП, выделены согласно Приложению 2 этого закона с учётом следующих признаков и индикаторов:

- количества опасного вещества или опасных веществ, которые одновременно находятся или могут находиться на опасном производственном объекте;
- давления и количества газа или жидкостей, используемых в технологическом процессе или транспортируемых по магистральному трубопроводу;
- количества перерабатываемой горной массы при добыче и переработке полезных ископаемых и др.

Для идентификации ПТП как опасного производственного объекта проведён анализ основных структурных элементов предприятия, процессов, операций, используемых опасных веществ, давления жидкости и газов в трубопроводах, транспортных средств, объёмов перерабатываемой горной массы и выполнена оценка соответствия их признаков категориям и классам опасности, указанных в Приложениях 1 и 2 Закона РФ [2].

Основным видом производственной деятельности ПТП являются погрузочно-разгрузочные и транспортно-экспедиционные услуги, выполняемые для шахт, разрезов, обогатительных фабрик, а также текущий ремонт и наладка собственных тепловозов. Для выполнения указанных видов работ осуществляются следующие процессы и операции [3]:

- погрузка, разгрузка и транспортировка материалов и оборудования заказчика железнодорожным транспортом;
- ремонт и наладка тепловозов предприятия;
- текущее содержание и ремонт железнодорожных путей;
- сушка и рассев песка, используемого для усиления сцепления колёс с рельсами;
- сварочные, столярные и токарные работы, необходимые для своевременного поддержания локомотивов предприятия в работоспособном состоянии.

С учётом вида работ и перечня признаков, указанных в Приложениях 1 и 2 Закона РФ [2] выделены следующие опасные производственные объекты:

- участок транспортный ПТП «Восточный Кузбасс»;
- площадка ПТП «Восточный Кузбасс» с компрессорной станцией и грузоподъёмными кранами.

Погрузочно-разгрузочные работы выполняются собственными силами и средствами контрагентов. Непосредственное управление погрузочно-разгрузочными работами на местах осуществляют ответственные работники - мастера погрузочных комплексов обслуживаемых предприятий. При производстве погрузочно-разгрузочных работ причастные работники руководствуются следующими нормативными документами:

- инструкциями по эксплуатации машин и механизмов;
- правилами техники безопасности;
- должностными инструкциями машинистов кранов, водителей погрузчиков, стропальщиков, грузчиков, приемосдатчиков.

Результатом обеспечения социальной безопасности является безаварийное производство, то есть структуру управления социальной безопасностью следует рассматривать как подсистему в сложной многоуровневой производственной системе управления объектом. Для ПТП социальная безопасность включает совокупность мероприятий по защите интересов персонала и инфраструктуры жизнеобеспечения управляемого объекта посредством мониторинга, прогноза и профилактики предаварийных ситуаций на основе минимизации

рисков возникновения аварий и инцидентов.

В структуре подсистемы управления социальной безопасностью, учитывая её определение, предлагается выделить следующие две параллельно функционирующие локальные подсистемы: управление охраной труда и управление инфраструктурой управляемого производственного объекта (рисунок 1).

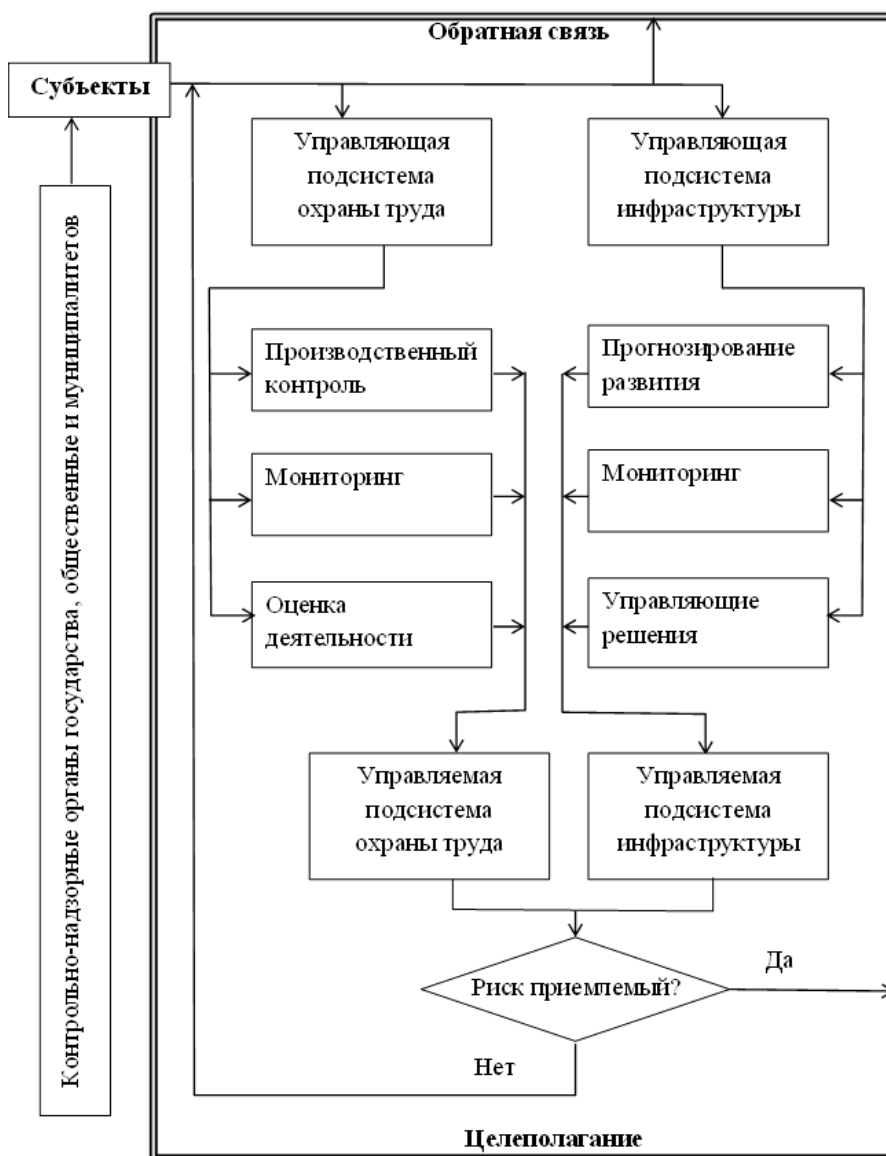


Рисунок 1 – Структура подсистемы управления социальной безопасностью погрузочно-транспортного предприятия

В качестве субъектов управляющей подсистемы социальной безопасности ПТП приняты контрольно-надзорные органы государства, общественные организации, муниципалитеты, ведомственные структуры угольного холдинга, а также руководители, занимающие постоянную должность и наделенные полномочиями в области принятия решения соответствующей службы или участка, линейные исполнители и исполнители на рабочих местах, осуществляющие управленческое воздействие на объект управления (рисунок 1).

Таким образом, объектами управления управляющей подсистемы охраны труда является персонал, его интересы, состояние здоровья, уровень профессиональной подготовки, материальное обеспечение и социальные гарантии, компетенции каждого индивида, персонал-стратегии, кадровая политика, подбор персонала, его оценка, расстановка и обучение, профилактическая работа, непрерывный и эффективный контроль, оценка действий персо-

нала по улучшению, совершенствованию и развитию системы охраны труда.

Для принятия управляющего решения с учётом целеполагания необходимо получить и оценить исходную информацию о состоянии персонала, качестве выполнения должностных обязанностей, что осуществляется посредством производственного контроля, мониторинга процессов выполнения должностных обязанностей и оценки деятельности каждого работника или группы работников, объединённых одним технологическим процессом.

Функции управляющей локальной подсистемы инфраструктуры ПТП (рисунок 1) заключаются в прогнозировании развития инфраструктурных объектов посредством моделирования, выбора и реализации рациональных вариантов управляющих решений с последующим мониторингом и оценкой эффективности.

Так как деятельность ПТП тесно связана с недропользованием посредством транспорта угля потребителям, то подсистема управления социальной безопасностью ПТП должна базироваться на разработанных Ростехнадзором и обязательных для опасных производственных предприятий следующих принципах [4, 5]:

- создание и эксплуатация многофункциональной системы безопасности;
- научные исследования для разработки методических основ и адаптация к условиям ПТП риско-ориентированного подхода с оценкой вероятности возникновения аварий, в том числе с катастрофическими последствиями;
- создание и эксплуатация системы дистанционного мониторинга производственных процессов с применением средств телеметрии и информационно-коммуникационных технологий;
- реформирование процедуры аттестации руководителей и специалистов;
- снижение административного пресса с повышением ответственности руководства ПТП, как субъекта хозяйственной деятельности, за эффективное функционирование системы управления социальной безопасностью.

В соответствии с философской теорией взаимодействия предметов и орудий труда [6] нарушения условий безопасной работы возникают при взаимодействии человека, вооружённого орудиями труда, с предметами труда, то есть при отсутствии такого взаимодействия не возникает предаварийная ситуация или инцидент. В этом философском понятии состоит сущность системы управления социальной безопасностью производственных предприятий.

Понятие социальной безопасности тесно связано с понятием культуры безопасности [7]. Международная консультативная группа по ядерной безопасности при Генеральном директоре МАГАТЭ предлагает следующее определение этого понятия: «...культура безопасности – это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности атомной станции, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью».

В соответствии с этим определением для условий эксплуатации транспортных предприятий понятие культура безопасности предлагается адаптировать в следующей редакции: культура безопасности – это набор характеристик и особенностей деятельности и поведения работников, который устанавливает, что проблемам безопасности ПТП уделяется приоритетное внимание, определяемое требованиями Закона РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2].

Так как культура безопасности и социальная безопасность тесно связаны между собой и существенно зависят от человеческого фактора, то для условий эксплуатации погрузочно-транспортного предприятия можно выделить две основные компоненты этих понятий:

- создание и эффективное функционирование системы управления с распределением доли прав и ответственности между участниками и элементами управляющей и управляемой подсистем;
- создание необходимой системы мониторинга, прогноза управляющих воздействий

и профилактики предаварийных ситуаций на основе минимизации рисков возникновения аварий и инцидентов по защите интересов персонала и инфраструктуры жизнеобеспечения объектов управления посредством.

Система управления производственным объектом (рисунок 2) включает следующие основные элементы: цель управления, внешние воздействия, объект управления, модель объекта управления, процедуру мониторинга состояния объекта, информационные потоки, систему поддержки принятия решений, управляющие решения, субъект управления, механизм реализации управляющих воздействий [8 – 10].

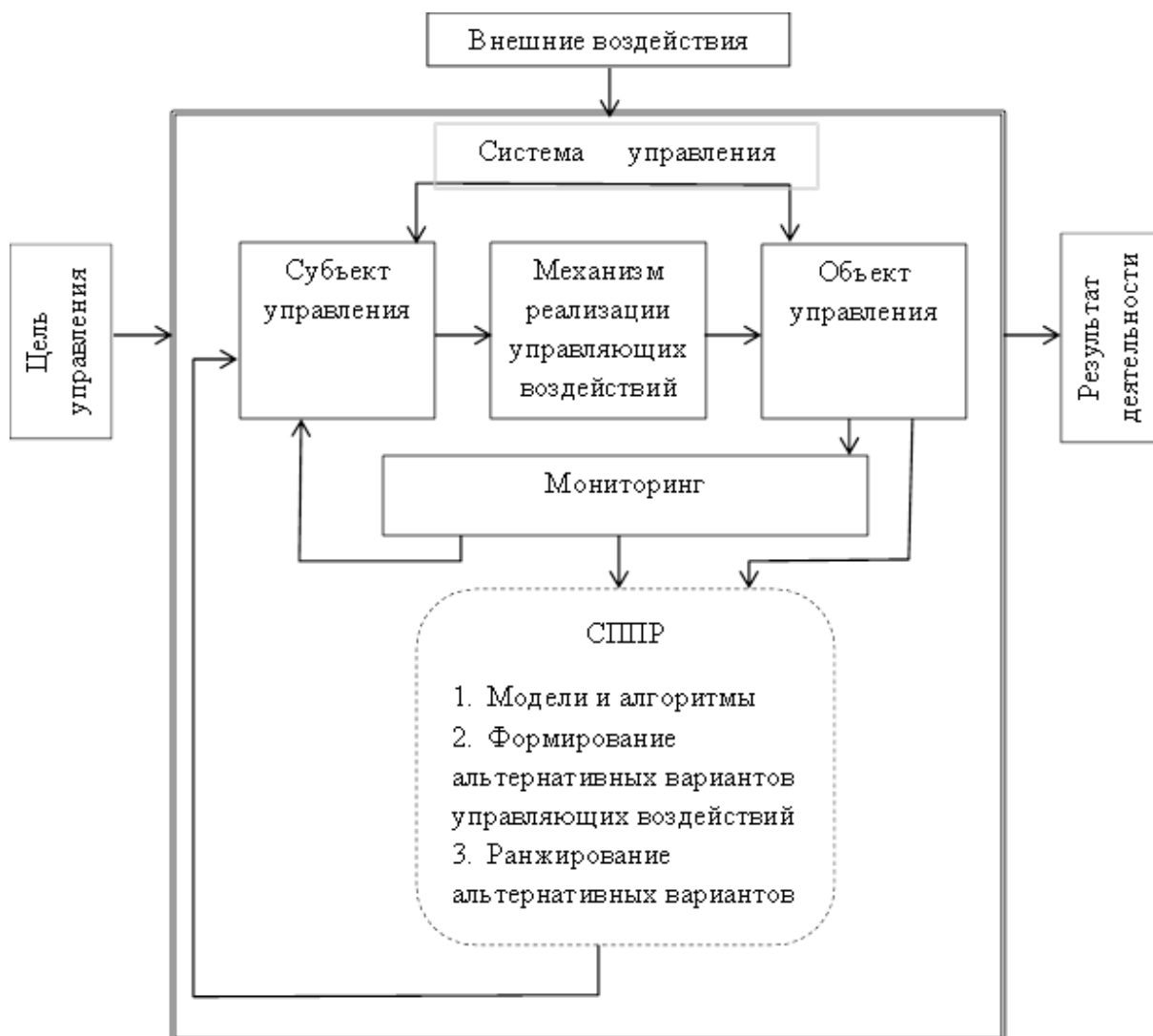


Рисунок 2 – Система управления производственным объектом

Для описания процесса функционирования подсистемы управления социальной безопасностью необходимо разработать и внести в систему управления ПТП следующие элементы:

- методические основы, правила и регламенты мониторинга технологических процессов, технических средств, персонала;
- модель управляемого объекта, в том числе модель социальной подсистемы, включающей персонал, инфраструктуру и процессы их взаимодействия; реализация моделей и алгоритмов обеспечивает формирование и моделирование альтернативных сценариев развития технологических процессов и подсистем ПТП, ранжирование сценариев по заданному критерию;
- механизм принятия и реализации управляющих решений субъектами управления,

то есть руководителями службы, участков, отделов.

С учётом целеполагания и под влиянием внешних воздействий система управления, приведённая на рисунке 2, функционирует следующим образом. Основным является объект управления, который включает структурные элементы, в том числе персонал и инфраструктуру, являющиеся объектами управления в подсистеме социальной безопасности. Функциями остальных подсистем и структурных элементов является обеспечение эффективной и безопасной работы объекта управления.

Для обеспечения оперативного и перспективного управления объектом управления создаётся субъект управления, который включает лиц принимающих решения (ЛПР) в виде руководителей службы, участков, отделов. При работе объекта управления осуществляется мониторинг технологических процессов и технических устройств. Результаты мониторинга для анализа поступают в систему поддержки принятия решений (СППР) и субъектам управления.

Основным прогнозирующим интеллектуальным элементом системы управления является система поддержки принятия решений (СППР), которая обеспечивает:

- обработку потоков информации;
- формирование альтернативных сценариев развития объекта управления;
- экспертную оценку и ранжирование этих сценариев по заданному критерию эффективности с учётом параметров объекта управления, полученных при мониторинге,
- передачу ранжированных сценариев субъектам управления.

Реализация принятых ЛПР управляющих решений осуществляется в соответствии с механизмами, которые для каждой службы или участка могут существенно отличаться.

Для разработки указанных моделей, системы мониторинга и механизма реализации управляющих воздействий проведён анализ достижений науки и практики при управлении объектами, аналогичными ПТП, в том числе с учётом подсистемы управления социальной безопасностью.

Согласно поставленным в настоящей работе задачами среди множества функций моделей рассматривается одна: исследование процессов ПТП для прогнозирования поведения объекта при воздействии на него внешних и внутренних факторов. В структуре подсистемы управления социальной безопасностью рассматриваются две модели: поведение персонала и реакции инфраструктурных объектов при воздействии на них персонала.

Для моделирования поведения объектов подсистемы управления социальной безопасностью (ПУСБ) проведена экспертная оценка эффективности методов моделирования (таблица 1).

Натурный эксперимент проводится при необходимости установления режимов работы нового оборудования, оценки эффективности процессов и операций, обоснования норм выработки, выявления резервов производства, прогнозирования рисков возникновения нештатных ситуаций при взаимодействии персонала и элементов инфраструктуры. Основными способами определения указанных параметров является хронометраж, точечный или автоматизированный мониторинг процессов и операций.

Статистические методы в ПУСБ применяются наиболее часто, алгоритмы статистической обработки ретроспективной информации апробированы. Однако достоверность прогноза существенно зависит от объёма и качества выборки информации и периода экстраполяции результатов прогноза.

Концептуальное моделирование применяется для экспертной оценки альтернативных вариантов развития предприятия и динамики мероприятий по охране труда.

Экономико-математическое моделирование рекомендуется использовать при выборе оптимальных вариантов перспективного развития или технического перевооружения предприятия. В качестве критерия оптимальности принимается чистый дисконтированный доход, а ограничениями являются приемлемые риски возникновения аварий или инцидентов.

Таблица 1 – Методы и алгоритмы моделирования процессов ПУСБ

| Методы моделирования | Алгоритмы | Достоинства | Недостатки | Возможность применения в ПУСБ |
|--|---|--|--|---|
| Натурный эксперимент | Мониторинг, хронометраж, опытно-промышленные испытания | Высокая достоверность результатов | Большая трудоёмкость, сложность повторения эксперимента | Внедрение новой техники и технологий для обоснования режимов безопасной работы и норм выработки |
| Статистическое моделирование | Корреляционный анализ, нейронные сети, Байеса, анализа и параметрического синтеза | Достаточная достоверность результатов при минимальных периодах экстраполяции | Снижение достоверности при увеличении горизонта прогноза и турбулентности экономики | Разработка вариантов развития ПУСБ, календарное и оперативное планирование |
| Концептуальное моделирование | Теория графов, когнитивные и динамические алгоритмы | Возможность оперативной оценки эффективности альтернативных стратегий развития ПТП и ПУСБ при неопределённости ситуации и отсутствии полной информации | Сложность количественной оценки параметров сценария развития ПТП и ПУСБ | Экспертная приближённая оценка состояния ПТП и ССБ |
| Экономико-математическое моделирование | Имитационные, экономико-математические, дискретные модели | Возможность оценки эффективности альтернативных стратегий развития ПТП и ПУСБ | Снижение достоверности при увеличении горизонта прогноза, большая трудоёмкость построения уникальных моделей | Оценка вариантов перспективного развития ПТП и ПУСБ |

Выводы

На основе анализа процессов и операций ПТП обоснована структура подсистемы управления социальной безопасностью, согласно которой выделены две взаимодействующие подсистемы: управление охраной труда и управление инфраструктурой управляемого производственного объекта.

Для создания подсистемы управления социальной безопасностью предлагается разработать и внести в систему управления ПТП правила и регламенты мониторинга технологических процессов, технических средств, персонала, модель управляемого объекта, механизм принятия и реализации управляющих решений субъектами управления.

Библиографический список

1. Приступа Ю.Д. Моделирование процесса управления транспортными потоками угольного холдинга в условиях неопределенности / Ю.Д. Приступа, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов ; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Сиб. гос. индустр. ун-т». – М. : АНО ИД «Научное обозрение», 2014. – 216 с. – Библиогр.: с. 199-208.
2. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Текст]: федер. закон от 21 июля 1997г., № 116-ФЗ // собрание законодательства Российской Федерации. – 1997. № 30.- Ст. 3588, с дополнениями и изменениями 2000 – 2014гг.

3. Пристипа Ю.Д. Разработка организационной структуры управления погрузочно-транспортным предприятием угледобывающего региона // Ю.Д. Пристипа, С.В. Шишкина, В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей по материалам Междунар. научно-практ. конф., Новокузнецк, 2-5 июня, 2015г. – Новокузнецк, 2015. – С. 195 – 200.
4. ГОСТ Р 12.0.007-2009. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию [Текст].- М.: Стандартинформ, 2009. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/56/56203/>
5. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01): Утв. Госгортехнадзором России, Постановлением от 10.07.2001 №30. Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=201. Загл. с экрана.
6. Философский энциклопедический словарь [Текст] /Л.Ф Ильичёв, П.Н. Федосеев, С.М. Ковалёв, В.Г. Панов. – М.: Сов. Энциклопедия, 1983. – 840 с.
7. Ризон Дж. Человек: угроза или гарант безопасности (сокращённая версия) [Текст]/ Дж. Ризон; пер. с англ. Л.П. Петуховой, Л.С. Громько. – Новокузнецк: Кемеровский гос. ун-т, 2015. – 151 с.
8. Теория и практика прогнозирования в системах управления [Текст] /С.В. Емельянов [и др.]. - Кемерово: Кузбассвузиздат, 2008. – 487 с.
9. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] /И.У. Ямалов. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2010. – 288 с.
10. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ МНОГОВАРИАНТНОГО ВЫБОРА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Николаев П.И., Зиновьев В.В., Стародубов А.Н.

*Кузбасский государственный университет имени Т. Ф. Горбачева,
Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия*

Внедрение современного оборудования в автоматизированные производственные системы (АПС) в процессе их проектирования или модернизации принесёт ожидаемый эффект только в случае, если оно оптимально расположено в структуре АПС. Организация оптимальной структуры требует рассмотрения множества вариантов, которые в совокупности описаны академиком Ю. М. Соломенцевым, как многомерное невыпуклое пространство решений, характеризующееся наличием одного глобального и нескольких локальных оптимумов [1]. Использование метода имитационного моделирования для описания АПС с целью выбора эффективного компоновочного варианта оборудования описано в работе [2]. Преимущество использования эвристических методов над математическими при решении задачи многовариантного выбора структуры АПС доказано в работе [3]. В данной статье приводится критериальное сравнение эвристических алгоритмов оптимизации в исследуемой области с последующим выбором более эффективного алгоритма и его реализацией в виде методики по выбору оптимальной структуры АПС.

Для сравнения возьмём наиболее используемые эвристические методы: алгоритм А* с модификациями, алгоритмы восхождения к вершине и эволюционные алгоритмы. Применительно к выбору структуры АПС предложены два критерия, по которым можно оценить приемлемость эвристического метода. Первый критерий – это возможность эвристического перебора параметров структуры АПС. Второй критерий – это возможность работы алгоритма в многомерном пространстве факторов.

Алгоритм А* используется для нахождения приемлемого пути на графе. Его модификацией является алгоритм муравьиной колонии, преимущество которого заключается в рассмотрении не только текущих итераций, но и предыдущих. Так как семейство алгоритмов А* работает с графами, параметры которых являются статичными, то эвристический перебор структуры графа в рамках этого алгоритма невозможен, то есть оно не соответствует первому критерию. Так как семейство алгоритмов А* работает только в двумерном пространстве координат X и Y, второму критерию оно тоже не удовлетворяет.

Алгоритм восхождения к вершине работает следующим образом: на первом шаге алгоритма из области факторов выбирается одна или несколько точек. На следующих итерациях рассматривается окрестность этой точки, и, если в окрестности находится лучшее решение, алгоритм «поднимается» до этой точки. Он останавливается в точках локального экстремума, и в таком случае не способен выйти на глобальный экстремум. Этот недостаток преодолевается в двух модификациях алгоритма. Алгоритм отжига реализуется в виде энергии скачка рассматриваемой точки с одной позиции области факторов на другую. Поиск с запретом запрещает посещать точки, которые уже рассматривались несколько итераций назад, что приводит результат в область глобального максимума. Семейство алгоритмов восхождения к вершине удовлетворяет первому критерию, так как в них перебор идёт в области факторов, а значит в области параметров структуры АПС. Однако, чем больше факторов рассматривает алгоритм семейства восхождения к вершине, тем дольше достигается восхождение. В многомерном пространстве параметров АПС экстремум сложно найти такими алгоритмами, а значит они не удовлетворяют второму критерию.

Эволюционные алгоритмы представляют элементы многовариантного выбора в виде особей, геном которых представляет собой параметры элемента. Случайным образом генерируется популяция особей с различным геномом, а затем итерационно особи переживают операцию скрещивания – обмена геномом с получением новой особи, операцию мутации – случайного вмешательства в геном, и операцию селекции – выбор из получившихся особей лучших представителей. В случае выбора структур АПС в виде особей представлены отдельные структуры АПС, в виде генома – их параметры, а в результате работы алгоритма на выходе будет набор из N штук структур АПС, параметры которых позволят говорить об их оптимальном или субоптимальном выборе. Эволюционные алгоритмы удовлетворяют критерию перебора параметров структуры АПС, а также удовлетворяет критерию работы в многомерном пространстве факторов, так как все факторы учитываются в геноме особи, размер которого не ограничен. Итог сравнения эвристических алгоритмов по представленным критериями представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эвристических алгоритмов выбора оптимальной структуры АПС по критериям возможности перебора параметров АПС и возможности работы в многомерном пространстве факторов

| Удовлетворение критерию | Семейство алгоритмов А* | Семейство алгоритмов восхождения к вершине | Эволюционные алгоритмы |
|--|-------------------------|--|------------------------|
| Возможность перебора параметров АПС | Нет | Да | Да |
| Возможность работы в многомерном пространстве факторов | Нет | Нет | Да |

Следуя двум критериям при решении задач выбора оптимального варианта структуры АПС целесообразно использование эволюционных алгоритмов.

Для решения задачи поиска оптимальных структур АПС, их оценки и генерации в автоматическом режиме был использован эволюционный алгоритм, т.к. в отличии от генетического, он не требует кодирования варьируемых данных в двоичную систему счисления.

Задача оптимизации структуры АПС заключается в том, чтобы для автоматизиро-

ванной производственной системы, с заданной технологической программой, найти автоматизированную складскую систему (АТСС) с таким расположением оборудования, транспортной системой и другими параметрами, при которых критерий эффективности АТСС будет стремиться к экстремуму $F(\bar{G}) = \text{extr } F(G)$ при выполнении следующих ограничений:

– ограничение на размер производственного помещения

$$X_S^{\min} \leq X_S \leq X_S^{\max}; \quad Y_S^{\min} \leq Y_S \leq Y_S^{\max}; \quad Z_S^{\min} \leq Z_S \leq Z_S^{\max}; \quad (1)$$

где X_S – ширина производственного объема;

Y_S – длина производственного объема;

Z_S – высота производственного объема;

– расстояние между оборудованием не может быть меньше допустимого

$$\rho(A_i, A_k) \geq [L]_{ik}, \quad i \neq k; \quad (2)$$

где $\rho(A_i, A_k)$ – расстояние между i и k -тыми производственными модулями;

$[L]_{ik}$ – минимально допустимое расстояние между i и k -тыми производственными модулями.

– порядок размещения оборудования в зависимости от типа транспортной системы.

Составляющие критерия эффективности АТСС:

Общее время производства

$$(T_{п.ц.} \rightarrow \min). \quad (3)$$

Коэффициент простоя оборудования

$$(T_{пр.об.} \rightarrow \min). \quad (4)$$

Показатель приведенных затрат

$$Z = \sum_{i=1}^n [N_j(\delta + \beta)S_{ст} \sum_{i=1}^m T_{\Phi ij} + (E_n + \alpha)F_j/F_3 \sum_{i=1}^m A_{ij}a_i] \rightarrow \min \quad (5)$$

Для работы операторов эволюционного алгоритма необходимо закодировать характеристики, определяющие структуру АПС. Для этого характеристики были записаны в генотип, в качестве генов которого будут использоваться: тип транспортной системы, модель транспортной системы, порядок расположения оборудования, число станков в каждой рабочей группе, модель станков рабочей группы. Для поиска необходимо определить операторы скрещивания, мутации, селекции, число «жизней» особи (варианта АПС), функцию пригодности (набор имитационных моделей АПС), критерии эффективности (производительность, коэффициент загрузки оборудования, стоимость оборудования), граничные условия, критерии завершения поиска. Начальная популяция вариантов АПС генерируется или компьютером, или пользователем. Первый вариант предпочтителен, т.к. позволяет избежать влияние человеческого фактора. Механизм генерации начальных вариантов должен обеспечивать генетическое разнообразие особей. С помощью функции пригодности определяются параметры особи (сгенерированный вариант АПС оценивается с помощью имитационного моделирования).

Согласно алгоритму эволюции, если имеющиеся на шаге варианты удовлетворяют критерию завершения (количество итераций алгоритма, длительное отсутствие изменений в генерируемых вариантах АПС), то поиск заканчивается. Если нет, то создать новый набор вариантов АПС. Генерация нового набора вариантов АПС состоит из трех составляющих. Лучшие текущей популяции переходят в следующую популяцию. Переход экземпляров из одной генерации в другую позволяет сохранить лучшие варианты АПС, а ограниченность количества таких переходов, позволяет избежать ловушки локального минимума. Часть особей нового набора вариантов АПС генерируется в результате «скрещивания» вариантов АПС текущего набора (рисунок 2). Этот механизм позволяет улучшить набор вариантов АПС. Часть вариантов АПС нового набора генерируется путем мутации, т.е. варианты АПС

текущего набора получают какие-либо признаки не характерные для текущей набора (например, меняется тип транспортной системы). Механизм мутации позволяет уйти от ловушки локального минимума. Для каждого сгенерированного варианта АПС создается имитационная модель, позволяющая оценить полученный вариант. Создание новых наборов вариантов АПС происходит пока не будет удовлетворен критерий завершения поиска.

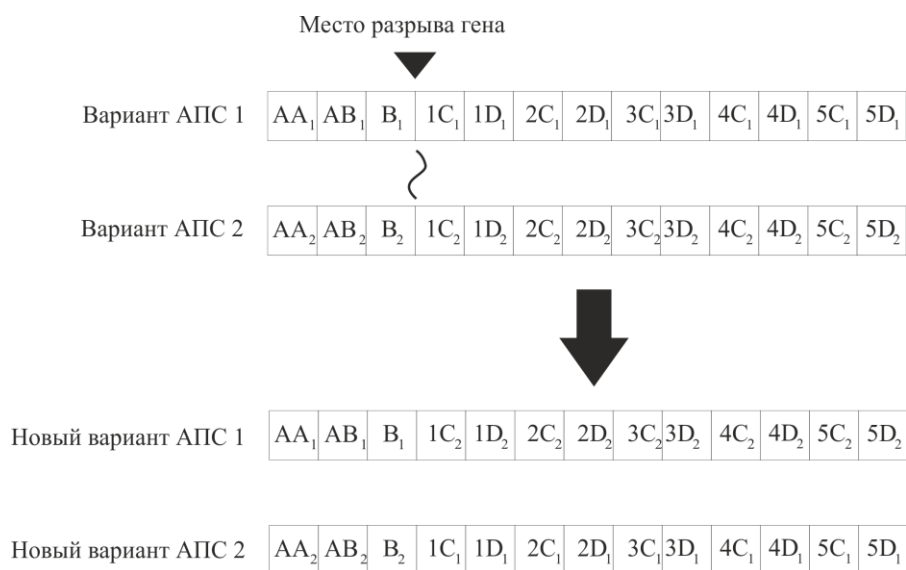


Рисунок 2 – Оператор скрещивания, применяемый к геному АПС

Таким образом показано, что для решения задачи поиска оптимального варианта структур АПС на многомерном невыпуклом пространстве, характеризующимся наличием нескольких локальных и одного глобального максимума, целесообразно применение эволюционного алгоритма, позволяющего за короткое время получить структуру, близкую к оптимальной.

Библиографический список

1. Проектирование автоматизированных участков и цехов / под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.:Высш. шк., 2000.
2. Полетаев, В. А., Зиновьев, В. В., Стародубов, А. Н., Чичерин, И. В. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / под ред. В. А. Полетаева. – М.: Машиностроение, 2011. – 324 с.
3. Николаев, П. И. Методы оптимизации структур АПС / П. И. Николаев // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: сб. науч. тр. / КузГТУ – Кемерово, 2014. – с. 406-407.

К ВОПРОСУ ОБ ОБЛАСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ SCADA-СИСТЕМ В РОССИИ

Богачев И.В., Любимов О.В., Самородова Л.Л., Якунина Ю.С.

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово*

Созданные как альтернатива материальным операторским щитам с мнемосхемами технологических процессов, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – системы в соответствии с четко сформулированными на сегодняшний день функциями и требованиями, которыми они должны обладать, уверенно занимают в ряде отраслей место между чело-

веком и порученным его наблюдению оборудованием, обеспечивая управление в реальном времени.

Большинство статей о SCADA-системах, находящихся в свободном доступе и открытых источниках, носят в большей степени рекламный характер; при этом в публикациях намеренно декларируются достоинства одной системы перед другими и в отрицательном свете выставляются недостатки конкурентов. При отсутствии объективных данных попытаемся проанализировать применение SCADA-систем в различных сферах экономики сквозь призму мнений двух представительных (и показательных, на наш взгляд) профессиональных групп: сообщества российских инженеров-внедренцев (специалистов ЭВМ и КИПиА) и российского научного сообщества. В качестве информационного поля, на котором мнения могут быть сопоставлены, выберем электронную площадку российского сегмента рынка SCADA-систем в сети Интернет.

На рисунке 1 представим основные области применения SCADA-систем по данным специализированных инженерных форумов. На основе сплошного статистического наблюдения и анализа материалов форума нами были определены основные сферы применения SCADA-систем.

Из полученных результатов (рисунок 1) можно сделать вывод о том, что сферы применения данных систем, в которых они являются самыми востребованными – это ЖКХ и смежные с ним области. Бурный интерес к SCADA в данной сфере обусловлен оптимизацией затрат на обслуживание объектов ЖКХ, применением энергосберегающих технологий и необходимостью четкого контроля использования ресурсов. Следом идут объекты и коммуникации ТЭК, системы вентиляции. На самом последнем месте находится автоматизация производств, что объясняется отсутствием тенденции к серьезному росту промышленных предприятий в России в последнее время (в условиях кризиса – сокращение) и влиянием внешних экономических факторов на развитие производств [1].

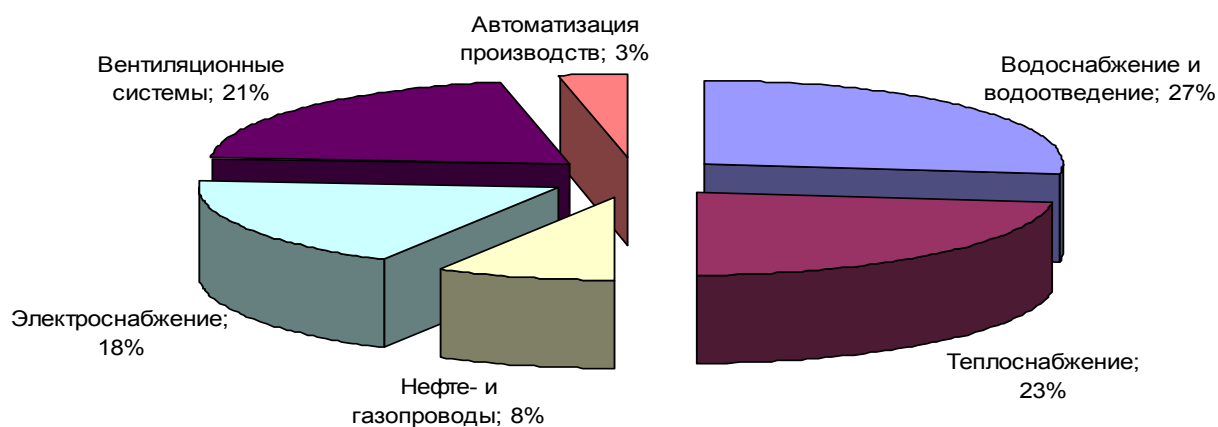


Рисунок 1 – Основные области применения SCADA-систем по данным специализированных инженерных форумов

Потенциальные потребители проявляют интерес, прежде всего к программным продуктам, работающим под операционными системами Windows, Linux, QNX. Из вопросов, также живо интересующих посетителей форумов, следует отметить сложность внедрения, а также соотношение цена/узел, то есть стоимость на одну контролируемую точку. Лишь 30% потенциальных потребителей по результатам анализа форума отдают предпочтение отечественным разработкам [2].

Иная картина распределения интереса потребителей по областям применения SCADA-систем следует из анализа работ научного сообщества (рисунок 2). Нами были проанализированы авторефераты диссертаций, посвященных проблемам исследования SCADA-систем.

По их данным наибольшее применение SCADA-системы находят в нефтегазовой сфере и энергетике, что объясняется распределенностью и сложностью соответствующих технологических производств. Данные отрасли в меньшей степени ощущают кризисные шоки, перспективны в плане финансирования научных исследований и их практического внедрения.

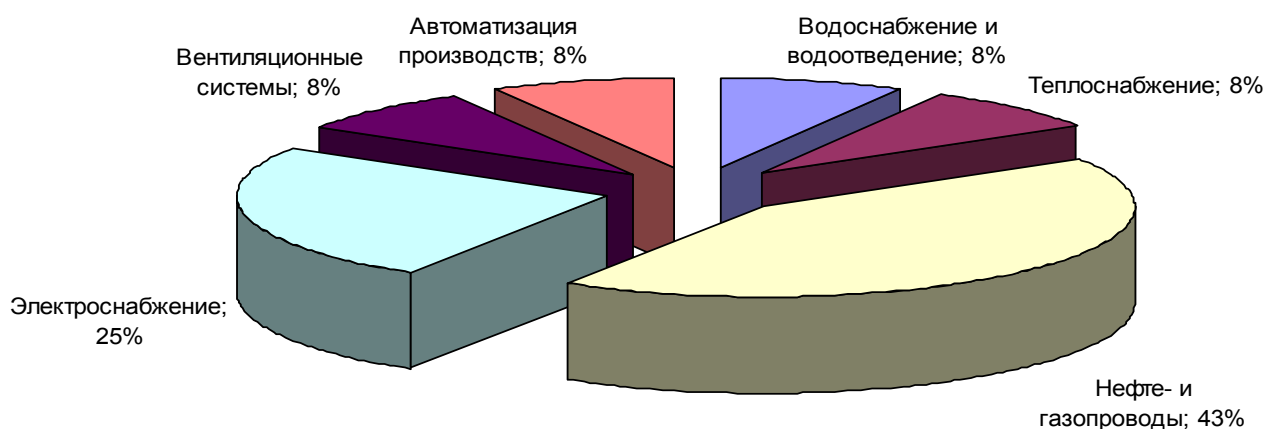


Рисунок 2 – Распределение интересов потребителей по областям применения SCADA-систем по данным научных исследований

Следует отметить, что анализируемые научные работы имеют четкую подчиненность существующим тенденциям развития технических средств систем диспетчеризации. Так, работы Д.Б. Юрченко, Е.С. Коркиной посвящены развитию мобильного оборудования, измерительного оборудования PMU (Phasor Measurement Unit) [3, 4]. Разработка научных основ открытой архитектуры SCADA (обработка данных архива событий, разработка быстродействующих алгоритмов работы) представлена в работах С.В. Сусарева и М.А. Бояркина [5, 6].

Таким образом, анализ рыночного сегмента в сети Интернет показал востребованность современных SCADA-систем на российском рынке и как актуальных эффективных инструментов диспетчеризации, и как перспективного объекта научных исследований. Для дальнейшего изучения проблемных аспектов необходим более детальный анализ рынка SCADA-систем в России.

Библиографический список

1. Современные технологии автоматизации. Форум [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://forum.cta.ru/forum_posts.asp?TID=1329. – Загл. с экрана.
2. Средства и системы компьютерной автоматизации. Форум [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://asutp.ru/?p=600055>. – Загл. с экрана.
3. Юрченко, Д.Б. Разработка аппаратных и программных средств для мобильного оборудования SCADA систем / Д.Б. Юрченко. – Автореферат диссертации к.т.н. – Москва, 2007. – 19 с.
4. Коркина, Е.С. Развитие методов оценивания состояния ЭЭС на основе интеграции данных SCADA и PMU / Е.С. Коркина. Автореферат диссертации к.т.н. – Иркутск, 2009.– 26 с.
5. Сусарев, С.В. Разработка быстродействующих алгоритмов и систем автоматизированного управления компаундированием бензинов / С.В. Сусарев.– Автореферат диссертации к.т.н. – Самара, 2007. – 20 с.
6. Бояркин, М.А. Оценка результатов деятельности оператора-технолога нефтегазового промысла по данным архива SCADA-системы / М.А. Бояркин. – Автореферат диссертации к.т.н. – Тюмень, 2007. – 16 с.

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Белокопытов П.Н., Сазыкин Г.П.

*ЗАО «Гипроуголь»,
г. Новосибирск, Россия*

В настоящее время на многих объектах угольной промышленности (шахтах, разрезах, обогатительных фабриках) складывается такая ситуация, что непонятно какая организация несет ответственность за соблюдение правил безопасности, за соответствие фактического состояния предприятия, построенного по проектной документации Генпроектировщика, получившей положительное заключение Главгосэкспертизы РФ. Казалось бы, в первую очередь Собственник и Генпроектировщик, но зачастую происходит по-другому.

Производство есть производство, это постоянное движение с учетом изменения горно-геологических условий, прироста мощности, появления новых технологий и оборудования, в том числе и систем автоматизации. Но не все предприятия ответственно относятся к процедуре техперевооружения по причине желания все сделать подешевле, даже тогда, когда это касается безопасности производства и особенно в части пылегазового режима.

Некоторые собственники создали свои проектные институты или группы с целью «экономии» средств на проектирование. Эти проектные группы решают локальные задачи, как правило не владея общей информацией по всем разделам проекта в целом. Более того, эти структуры подчинены собственнику, а значит объективность их решений подлежит сомнению, они работают вынужденно, по команде.

Проектная организация должна быть независима.

Собственник часто организует тендеры по проектам техперевооружения с привлечением до 10 проектных структур, в том числе и не имеющих никакого опыта в проектировании предприятий с опасным производством. Поэтому многие из этих участников выполняют работы за 15 – 20 % от нормативной стоимости, на некоторых фабриках работают 5 и более различных проектных групп.

В результате создается путаница в проектной документации и непонятно – кто же несет ответственность за проектную документацию в целом. Генпроектировщик не ставится в известие о локальных проектах.

Мы считаем неправильным участие нескольких проектных организаций в проектах перевооружения предприятий, связанных с опасным производством. По крайней мере, эти проектные организации должны на субподряде у Генпроектировщика (по согласованию Собственника), т.е. должны быть подконтрольны, а полный комплект проектной документации обязательно должен находиться как у Собственника, так и у Генпроектировщика, безопасность производства – это главная экономия средств.

О СПОСОБАХ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ

Киселева Т.В., Маслова Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк Россия*

Использование в производстве информационных технологий чревато возникновением различного рода рисков, в случае реализации которых организация может понести значительный ущерб. Вопросами анализа, оценки и борьбы с рисками занимается такое направление, как риск-менеджмент. За рубежом риск-менеджмент стал развиваться в по-

следние десятилетия XX века, а в России ему уделяют внимание только в начале XXI века. Управление производством с учетом рисков необходимо для получения стабильных положительных результатов работы любого предприятия и дает безусловное преимущество перед конкурентами.

Процесс «Управление рисками» включает в себя следующие этапы [1]:

- Выбор анализируемых объектов и уровня детализации их рассмотрения.
- Выбор методологии оценки рисков.
- Идентификация активов.
- Анализ угроз и их последствий, выявление уязвимых мест в защите.
- Оценка рисков.
- Выбор защитных мер.
- Реализация и проверка эффективности выбранных мер.
- Оценка остаточного риска.

Анализ и оценка рисков важны для правильной разработки защитных мер, объективного оценивания их экономической эффективности и принятия своевременного решения об их внедрении. Это важно в деятельности ИТ-провайдера. В этом случае риски касаются ИТ-сервисов, которые провайдер предлагает своим заказчикам. Доступность, мощность, непрерывность, быстрое восстановление работоспособности в форс-мажорных обстоятельствах обеспечивают успех ИТ-провайдеру на рынке услуг. ИТ-сервис – это комплекс взаимодействующих ИТ-активов, цель которого состоит в производстве ценности для потребителя, определяемой полезностью, доступностью, мощностью, непрерывностью и безопасностью сервиса [1]. Как видно из приведенного определения, ИТ-сервис – это совокупность активов. Активы – это все то, чем располагает организация для производства сервиса. Они могут быть управленческими, информационными, организационными, финансовыми, инфраструктурными и т.д., также это могут быть знания, приложения, процессы, проекты.

Согласно ИТIL (библиотеке лучших руководств по управлению ИТ-сервисами) жизненный цикл ИТ-сервиса включает следующие стадии: стратегия, проектирование, внедрение, эксплуатация.

Одной из первоочередных задач является оценка вероятности возникновения того или иного риска. Часто при классификации рисков их вероятности оцениваются как: «сильная», «слабая», «умеренная». Но такая градация является грубой, неинформативной и мало-полезной. Уместно использовать методы нечеткой логики, где применяются лингвистические переменные, и вероятности событий, связанных с оцениванием риска, можно представить в более гибкой форме на языке человеческого общения, как: «крайне маловероятно», «маловероятно», «более-менее вероятно», «весьма вероятно», «почти наверняка» и т.д. Далее эти оценки с помощью выбранной функции принадлежности приобретают численные значения из интервала [0,1]. Выбор конкретной функции принадлежности может осуществляться при помощи экспертной группы, так как это плохо формализуемая задача, и ее решение часто основывается на интуиции и опыте. В случае оценки рисков целесообразно выбрать колоколообразную функцию вида:

$$\mu(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (1)$$

где $\mu(x, a, b, c)$ – функция принадлежности;

x – базовая переменная универсального множества X , в данном случае принимающая значения из диапазона [0, 100];

c – параметр, определяющий расположение значений $\mu(x, a, b, c)$ от центра функции принадлежности;

a, b – параметры, влияющие на форму кривой функции, подбираются экспериментальным путем.

Диапазоны изменения базовой величины для каждой лингвистической переменной

определяются с помощью экспертов. Ниже приведен график функции принадлежности для диапазонов изменения, которые выбраны следующими [2, 3]:

- Крайне маловероятно – $x \in [0, 14]$;
- Маловероятно – $x \in [15, 39]$;
- Более-менее вероятно – $x \in [40, 60]$;
- Весьма вероятно – $x \in [61, 85]$;
- Почти наверняка – $x \in [86, 100]$.

После определения диапазона подбираются параметры a и b (для каждого диапазона они могут быть различны) строится график функции принадлежности, приведенный на рисунке 1.

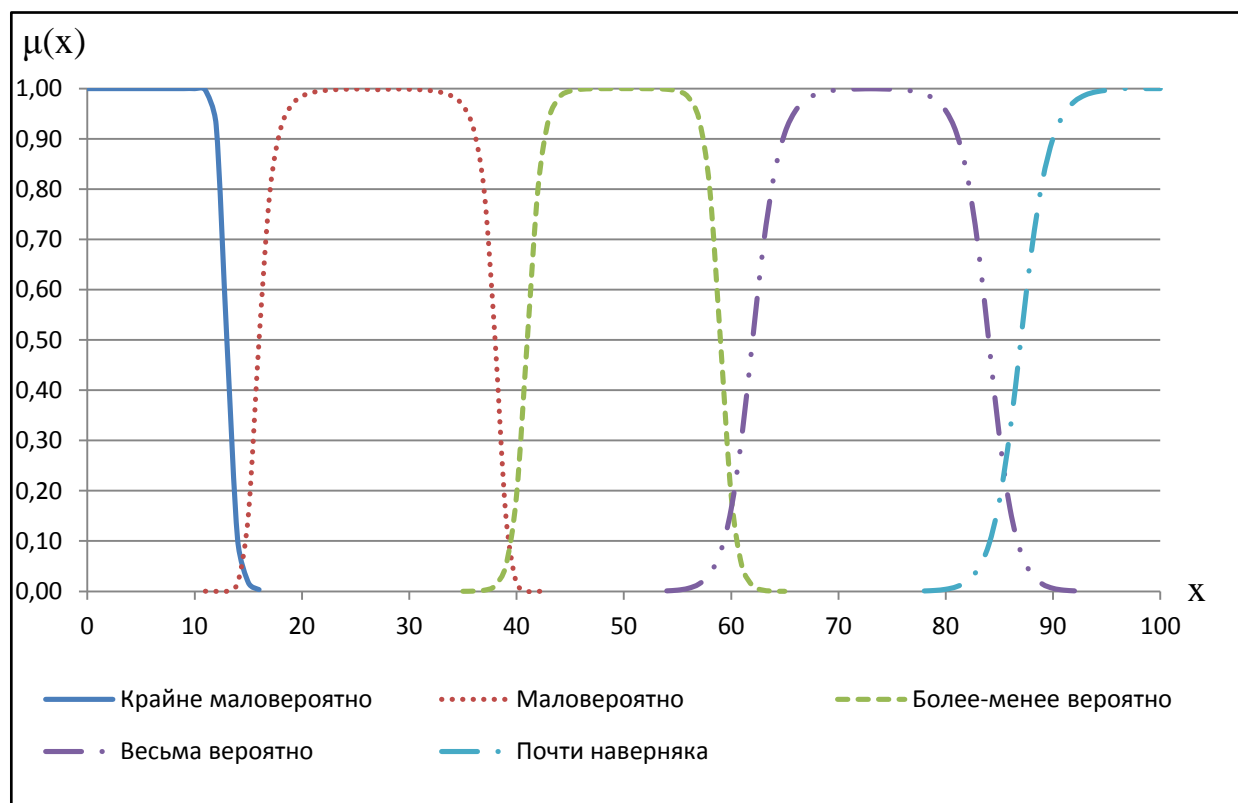


Рисунок 1 – Функция принадлежности оценки рисков

Следующей по сложности является задача оценивания ущерба, который может возникнуть в результате реализации того или иного вида риска. Но четкой методики для выполнения этой операции ни в одном источнике не предлагается. Ниже рассматривается сценарный подход для определения размера ущерба, нанесенного организации в результате реализации всех возможных рисков за плановый период работы с учетом добавленной стоимости ИТ-сервисов [3, 4].

Пусть за плановый период работы организации произошло n инцидентов. В каждом из этих случаев прекратила функционирование некоторая часть ИТ-сервисов S_i^c из портфеля сервисов объемом S^c . На какое-то время работа пользователей поврежденных сервисов остановилась до выяснения причин и того, какие именно сервисы вышли из строя. После этого была произведена замена вышедших из строя версий ИТ-сервисов S_i^c на их некоторые упрощенные варианты, находящиеся в рабочем состоянии S_i^{c-1} . В это же время начались работы по восстановлению пришедших в нерабочее состояние версий сервисов. После восстановления работа пользователей продолжена в обычном режиме. Схематично все вышеописанное представлено на рисунке 2, приведенном ниже.

связанных с различными форс-мажорными обстоятельствами, является страхование. Это позволит снизить причиненный ущерб и компенсировать затраты на восстановление работоспособности ИТ-сервиса.

Страхованием называется система мероприятий по созданию денежного (страхового) фонда за счет взносов его участников, из средств которого возмещается ущерб, причиненный стихийными бедствиями, несчастными случаями, а также выплачиваются иные денежные суммы в связи с наступлением определенных событий [3, 5].

Ниже дадим постановку задачи разработки системы страхования от рисков.

Дано:

1) Основные положения законодательства по страхованию;

2) Стоимость активов страхователя, u ;

3) Сумма расходов, запланированная страхователем для предупредительных мер, v ;

4) Вероятность наступления страхового случая, P ;

5) Доход страхователя, $H(u)$;

6) Ограничения:

– суммарные страховые взносы не должны быть ниже ожидаемых выплат, т.е. $\omega \geq EW$, где ω – сумма страхового взноса: $\omega = \delta_0 W$, δ_0 – нетто-ставка, W – величина, определяющая размер текущих сумм выплат за рассматриваемый промежуток времени; EW – математическое ожидание текущей суммы выплат.

– нетто-ставка должна быть не меньше вероятности наступления страхового случая: $\delta_0 \geq P$.

7) Критерий: целевая функция страхователя:

$$Ef(v, u) = H(u) - z(u) - v - k(v, u) + p(v, u)[(1 + \varepsilon)V(v, u) - W'] \quad (3)$$

где u – действие страхователя, например, объем производимой продукции;

v – сумма, затрачиваемая на предупредительные меры;

$H(u)$ – доход страхователя;

$p(v, u)$ – вероятность наступления страхового случая;

$z(u)$ – затраты страхователя; ε – параметр; отражающий степень несклонности страхователя к риску ИТ-сервиса (оценивается экспертом);

$k(v; u)$ – страховой взнос; $V(v; u)$ – страховое возмещение;

W' – размер ущерба страхователя от реализации риска.

Требуется: разработать систему страхования рисков при выполнении ограничений и максимизации целевой функции страхователя.

Одна из действенных защитных мер для рисков, возникающих часто и требующих больших временных и денежных затрат для их устранения, аутсорсинг – это передача части ответственности за ИТ-сервис третьим лицам – узкоспециализированным организациям (аутсорсерам), что позволяет повысить качество обслуживания и уровень ответственности. Подобные организации имеют большой опыт работы в определенной сфере, который продолжают накапливать в процессе своей деятельности.

К главным преимуществам аутсорсинга относятся:

– Снижение затрат;

– Сокращение численности персонала;

– Возможность концентрации на основной деятельности;

– Получение услуг более высокого качества;

– Деление ответственности.

Конечно же, при привлечении аутсорсеров возможны риски другого рода: правовые, утечка конфиденциальной информации, потеря контроля над собственными ресурсами, банкротство аутсорсера. Поэтому крайне важно адекватно оценить свои ресурсы и возможности, а затем принимать решение о передаче части рисков на аутсорсинг.

При правильно организованном и регулярно проводимом управлении рисками возможно их существенно снизить, а в некоторых случаях избавиться совсем.

Риск появляется там, где присутствует угроза. И ими можно и нужно управлять. Конечно, это затратно, требует больших финансовых вложений, кроме этого, лицо, принимающее решение (ЛПР), должно разбираться во многих вопросах, быть компетентным не только в своей области, а также следить за политической и экономической ситуацией в стране и мире. Но при грамотно организованном и вовремя проводимом риск-менеджменте все затраты себя оправдают.

Библиографический список

1. Киселева Т.В. Классификация рисков ИТ-сервиса и возможные способы защиты / Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сб. тр. VIII Международной конференции «ПМТУКТ-2015. – Воронеж: изд-во Научная книга, 2015. – С. 180 - 182.
2. Маслова Е.В. Методы нечеткой логики как способ оценивания вероятности возникновения рисков ИТ-сервиса / Е.В. Маслова // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе (ИСИТ-2014). Материалы Всероссийской молодежной научно-практической школы, г. Кемерово, 19 - 21 июня 2014 г. - С.222 - 223.
3. Киселева Т.В. Некоторые аспекты управления рисками ИТ-сервиса / Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Системные проблемы надёжности, качества, компьютерного моделирования, информационных и электронных технологий в инновационных проектах (ИННОВАТИКА – 2014) // Материалы Международной конференции. – М., 2014. – С.36 - 38.
4. Маслова Е.В. Риски ИТ-сервисов и сценарный подход к определению ущерба / Е.В. Маслова // Управление большими системами [Электронный ресурс]: Материалы XII Всеросс. школы-конференции молодых ученых, / под общ. ред. Д.А. Новикова, А.А. Воронина ; Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова; Волгоград. гос. ун-т. – Электрон. текстовые дан. (104 файла.: 110 Мб.). – М. : ИПУ РАН, 2015. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Pentium 4; 1,3 ГГц и выше; InternetExplorer; AcrobatReader 4.0 или старше.– Загл. с экрана.
5. Маслова Е.В. Страхование как способ снижения рисков ИТ-сервиса / Е.В. Маслова // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе (ИСИТ-2014). Материалы Всероссийской молодежной научно-практической школы, г. Кемерово, 19 - 21 июня 2014 г. - С.220 - 221.

СВОЙСТВА КОРПОРАТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Дьяков П.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В современных условиях возрастает сложность социально-экономических систем как объектов управления, в частности, увеличивается вариабельность их структуры в условиях неопределенности [1]. Это обуславливает необходимость учета свойств таких объектов управления, как корпорации, которые характеризуются целенаправленностью изменений их структуры под воздействием как внутренних, так и внешних условий.

Корпоративные организации как социально-экономические системы характеризуются рядом свойств, наиболее важными среди которых являются нестационарность структуры, влияние внешних условий, наличие нормативов и норм, использование стимулирующих воздействий, координат. При этом на объект управления оказываются структурные, параметрические и координатные управляющие воздействия.

Структурное разнообразие является характерной чертой современных сложных объ-

ектов управления [1]. Это обуславливает необходимость структурного управления, чему пока уделяется недостаточное внимание в литературе и на практике. Структура системы управления корпоративной организации представлена на рисунке 1.



U_s, U_p и U_k – векторы структурных параметрических и координатных управляющих воздействий; Y – вектор выходных воздействий (издержки производства)

Рисунок 1 – Система управления корпоративной организации

К основным внутренним характеристикам структуры корпоративной организации относятся количество структурных подразделений и количество сотрудников. Учитывая, что для корпоративных образований характерно наличие большого числа автономных структурных подразделений и высокая численность сотрудников, структурное управление предназначено для изменения свойств объекта управления за счет изменения его структуры в соответствии с целями управления. Под структурным управлением понимают управляющее воздействие на объект, которое приводит к изменению хотя бы одной структурной связи между элементами (устройствами) внутри объекта управления или какой-либо его части с внешней средой.

Для эффективного управления издержками в корпоративной организации представляется необходимым уже на стадии разработки структуры и механизмов управления предусмотреть возможность для целенаправленного изменения организационной структуры, штатного расписания, функциональных обязанностей сотрудников. Значительную роль в управлении корпоративными организациями играют внешние условия, изменение которых воздействует как на объект управления, так и управляющую систему. При этом часть факторов, по преимуществу внутренних, подконтрольна корпоративной организации и поддается его управленческим воздействиям в той или иной степени. Другая часть факторов зависит от внешней среды, на которую корпоративная организация повлиять практически не в состоянии.

Так, на примере корпоративной организации ООО «СибГеоПроект» был выявлен перечень факторов, влияющих на систему управления (таблица 1). На основе экспертных оценок было установлено, что оценка влияния факторов внутренней и внешней среды позволяет ранжировать их следующим образом.

1) Высокое влияние – факторы F_3 и F_8 (требования государства к выполнению проектных работ, качество и обоснованность сметной работы).

2) Среднее влияние – фактор F_4 (требования к доработке и корректировке со стороны заказчиков).

3) Умеренное влияние – факторы F_6 и F_7 (политика оплаты труда, уровень организации производства).

Таблица 1 – Степень управляемости факторов, влияющих на издержки производства ООО «СибГеоПроект»

| Наименование фактора | Степень управляемости | Обоснование |
|--|-----------------------|--|
| F_1 . Динамика рынка труда и заработных плат специалистов | Неуправляемый | Компания не в состоянии влиять на рынок труда |
| F_2 . Ценовая политика сторонних организаций | Частично управляемый | В ходе переговорного процесса, проведения тендеров можно частично повлиять на ценообразование части контрагентов |
| F_3 . Требования государства к выполнению проектных работ | Неуправляемый | Компания не в состоянии влиять на деятельность органов власти |
| F_4 . Требования к доработке и корректировке со стороны заказчиков | Частично управляемый | В ходе взаимодействия с заказчиками можно выработать компромиссные варианты по части проектных работ |
| F_5 . Трудоемкость проектных работ | Управляемый | Трудовые затраты зависят от организации рабочего процесса и норм труда |
| F_6 . Политика оплаты труда | Частично управляемый | Компанию самостоятельно определяет политику оплаты труда в соответствии с законодательством, но под влиянием фактора F_1 |
| F_7 . Уровень организации производства | Управляемый | Компания самостоятельно организует производство, труд и управление |
| F_8 . Качество и обоснованность сметной работы | Управляемый | Компания самостоятельно осуществляет сметное ценообразование |
| F_9 . Решение вопроса «производить или покупать» | Управляемый | Компания самостоятельно принимает решение о выполнении работ собственными силами или передаче в субподряд |

Нормативы и нормы в управлении корпоративной организацией являются составляющей параметрических управляющих воздействий. Нормативный метод стал методом управления, связавшим функции планирования, учета и контроля. Он основан на определении плановых издержек в соответствии с нормами материальных, трудовых, энергетических и иных затрат, а также на сравнении фактически понесенных издержек с нормативным уровнем. Кроме того, использование прогрессивных норм позволяет стимулировать исполнителей к наилучшей работе. При внедрении нормативного метода деятельность корпоративного образования становилась более предсказуемой, его цели и планы – более конкретными и четкими.

Нормативный метод включает в себя несколько действий субъекта управления:

- 1) разработка норм по элементам, статьям затрат и видам продукции,
- 2) составление расчетов себестоимости продукции в соответствии с нормами,
- 3) ведение учета нормативных затрат и отклонений,
- 4) контроль и анализ отклонений, принятие корректирующих управленческих решений,
- 5) уточнение и доработка норм издержек и калькуляций.

Модель издержек предприятия в разных вариантах нормативного метода варьируется. Так, Г. Эмерсон, Г. Гантт настаивали на том, что нормированные, стандартные издержки C_s не могут быть больше фактических издержек C_f , т.е. $C_s \leq C_f$. При этом, чем меньше разница фактических и стандартных издержек, тем более эффективно управление ими, т.е. $C_f - C_s \rightarrow \min$. Отсюда вытекает «правило Гантта» – все расходы выше установленных норм вы-

читаются из фонда заработной платы виновных и не увеличивают затраты. Ч. Гаррисон считал нормальной ситуацию, когда $C_s \geq C_f$, что отражало возможности опережающего сокращения издержек по сравнению с планом [2].

Так или иначе, возможность планировать издержки производства заранее, сравнивать фактически полученные результаты с плановыми, стандартными и принимать соответствующие управленческие решения стала в свое время крупнейшим достижением теории и практики управления издержками. Нормирование и установление плановых значений различных статей издержек практикуется в настоящее время повсеместно.

Основную трудность при применении нормативного метода представляет определение технически и экономически обоснованных норм, поскольку нормирование является сложной затратной деятельностью инженерных и экономических работников достаточно высокой квалификации. Кроме того, изменение цен, условий деятельности организаций, научно-технический прогресс требует постоянной корректировки норм. В силу данного обстоятельства нормированию подвергаются в большинстве случаев наиболее важные статьи издержек, занимающие максимальные доли в структуре себестоимости. Однако нормативный метод может считаться базовым методом управления издержками в любой организации на оперативном уровне.

Важнейшим элементом параметрического управляющего воздействия является стимулирование объекта управления. В рамках существующих моделей стимулирования рассматривается субъект («центр») и объект управления («агент») [3, 4]. Агент выбирает действие $y \in A$, где A – множество его допустимых действий. Центр выбирает функцию стимулирования $\sigma(y) \in M$ (где M – допустимое множество), которая задает соответствие между действием агента и вознаграждением согласно отображению множеств σ :

$$\sigma : A \rightarrow \mathfrak{R}_1^+$$

где \mathfrak{R}_1^+ – множество действительных неотрицательных чисел.

Выбор действия y требует затрат агента $c(y)$ и в то же время приносит центру доход $H(y)$. Введем целевые функции полезности для центра и для агента соответственно:

$$\Phi(y) = H(y) - \sigma(y), \quad (1)$$

$$f(y) = \sigma(y) - c(y). \quad (2)$$

При этом (1) представляет собой разность доходов и затрат на стимулирование; а (2) – разность вознаграждений и затрат на труд. В данном случае агент будет выбирать возможное действие из множества глобальных максимумов (2) на множестве $P(\sigma)$:

$$P(\sigma) = \operatorname{Argmax}_{y \in (A)} \{\sigma(y) - c(y)\} \quad (3)$$

Центр предлагает агенту контракт $\{\sigma(y), y^*\}$, определяющий зависимость $\sigma(y)$ вознаграждения от результатов труда, а также требуемые конкретные результаты y^* . Необходимо определить систему стимулирования, максимизирующую (3). Введем гарантированную эффективность стимулирования $K_g(\sigma)$, отражаемую формулой (4):

$$K_g(\sigma) = \min_{y \in P(\sigma)} \Phi(y), \quad (4)$$

Задача построения оптимальной системы компенсационного менеджмента заключается в выборе такой $K_g(\sigma)$, что выполняется условие (5):

$$K_g(\sigma) \rightarrow \max_{\sigma \in M}, \quad (5)$$

Решением (5) является система:

$$\sigma_{\text{ОК}}(x, y) = \begin{cases} c(x) + \bar{U} + \delta, & y = x \\ 0, & y \neq x \end{cases}, \quad (6)$$

Следовательно, оптимальное реализуемое действие y^* (с точки зрения центра – требуемое от агента действие), которое является согласованным в силу эквивалентности стимулирования, находится из решения задачи оптимального согласованного планирования:

$$y^* = \arg \max_{x \in A} \{H(x) - c(x)\}.$$

Таким образом, анализ свойств корпоративной организации с точки зрения управления показывает, что необходимо осуществление управленческих воздействий всех трех типов – параметрических, координатных и структурных. Изменение структуры объекта под воздействием различных факторов оказывает определяющее влияние на эффективность управления издержками.

Основные резервы поддержания конкурентоспособного уровня издержек заключаются во влиянии таких факторов, как поддержание рациональной трудоемкости проектных работ, обоснованное определение трудозатрат, рациональная организация производства и труда сотрудников. Необходимо формировать оптимальные работоспособные составы проектных коллективов с обоснованным планированием трудоемкости и организации выполнения работ.

Еще одним важным внутренним фактором следует считать обоснованное решение возникающего в ходе проектных работ вопроса о том, какие элементы работ выполнять своими силами, какие – получать от сторонних организаций. По сути дела, речь идет о модификации классической задачи управления операционной деятельностью «производить или покупать». В конечном счете, все названные факторы предполагают рациональную организацию системы управления издержками производства корпоративного образования.

Библиографический список

1. Мышляев Л.П. Системы управления со структурным разнообразием / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции / под ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева: Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 7–12.
2. Расулов Р.М. Модели и методы оценки эффективности и управления затратами промышленного предприятия: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук / Р.М. Расулов. – М., 2013.
3. Иващенко А.А. Модели и механизмы многокритериального стимулирования в организационных системах / А.А. Иващенко, Д.А. Новиков, М.А. Щепкина. – М.: Ин-т проблем управления РАН, 2006.
4. Новиков, Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели) / Д.А. Новиков. – М.: Ин-т проблем управления РАН, 1998.

**СЕКЦИЯ 2.
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКОЙ «КАЛТАНСКАЯ-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ»*

**Грачев В.В., Шипунов М.В., Ивушкин К.А., Мышляев Л.П.,
Циряпкина А.В., Линков А.А., Макаров Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Научно-исследовательский центр систем управления,
Объединенная компания «Сибшахтострой»
г. Новокузнецк, Россия*

Обогатительная фабрика «Калтанская-Энергетическая» с производственной мощностью 2,6 млн. т обогащенного угля в год была запущена в эксплуатацию в 2015 году.

Технологическая схема обогатительной фабрики достаточно сложна и рассчитана на обогащение нескольких марок углей. Предусмотрена возможность одно- или двухстадийного обогащения рядового угля в тяжелой среде с обезвоживанием продуктов обогащения на дренажно-промывочных грохотах, центрифугах, гидроциклонах, магнитных сепараторах, со сгущением и обезвоживанием шламов с использованием радиальных сгустителей и фильтр-прессов. На фабрике производится два вида угольного концентрата: низкозольного, ориентированного, прежде всего, на металлургическую отрасль, и с зольностью 17 – 18 %, предназначенного для нужд энергетики.

Основная цель создания системы автоматизации управления обогатительной фабрикой (САУ ОФ) – это повышение эффективности управления технологическим комплексом и, вследствие этого, улучшение технико-экономических показателей его функционирования [1 – 5]:

- снижение удельных затрат на производство и увеличения выхода годного;
- повышение качества товарной продукции.

САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» решает задачи:

- оперативного формирования и анализа информации об изменениях режимов функционирования и состояний технологических процессов, агрегатов и оборудования, потреблении электрической и тепловой энергии;
- оперативной согласованной коррекции заданий на режимные параметры технологических процессов;
- оперативной реализации управляющих решений и регулирования технологических параметров;
- контроля, учета и анализа нарушений технологической и производственной дисциплины, эффективности управления;
- комплексного и детального отображения информации о состоянии оборудования и агрегатов, изменениях технологических параметров, о действиях оперативного персонала в системе.

В функциональной структуре системы автоматизации управления (САУ) ОФ, представленной на рисунке 1, выделяются четыре основные системы

- система централизованного сбора, обработки и хранения информации;
- система автоматизации управления производственными процессами обогатительной фабрики (САУП);
- система инженерного сопровождения;
- система автоматизации управления технологическим комплексом (САУ ТК), состоящей в свою очередь также из четырех систем

* Работа поддержана грантом РФФИ по проекту №15-07-02231.

- автоматизации оперативно-диспетчерского контроля и управления технологическим комплексом фабрики;
- автоматизации управления технологическим комплексом углеподготовки;
- автоматизации управления технологическим комплексом обогащения рядового угля;
- автоматизации управления технологическим комплексом погрузки.

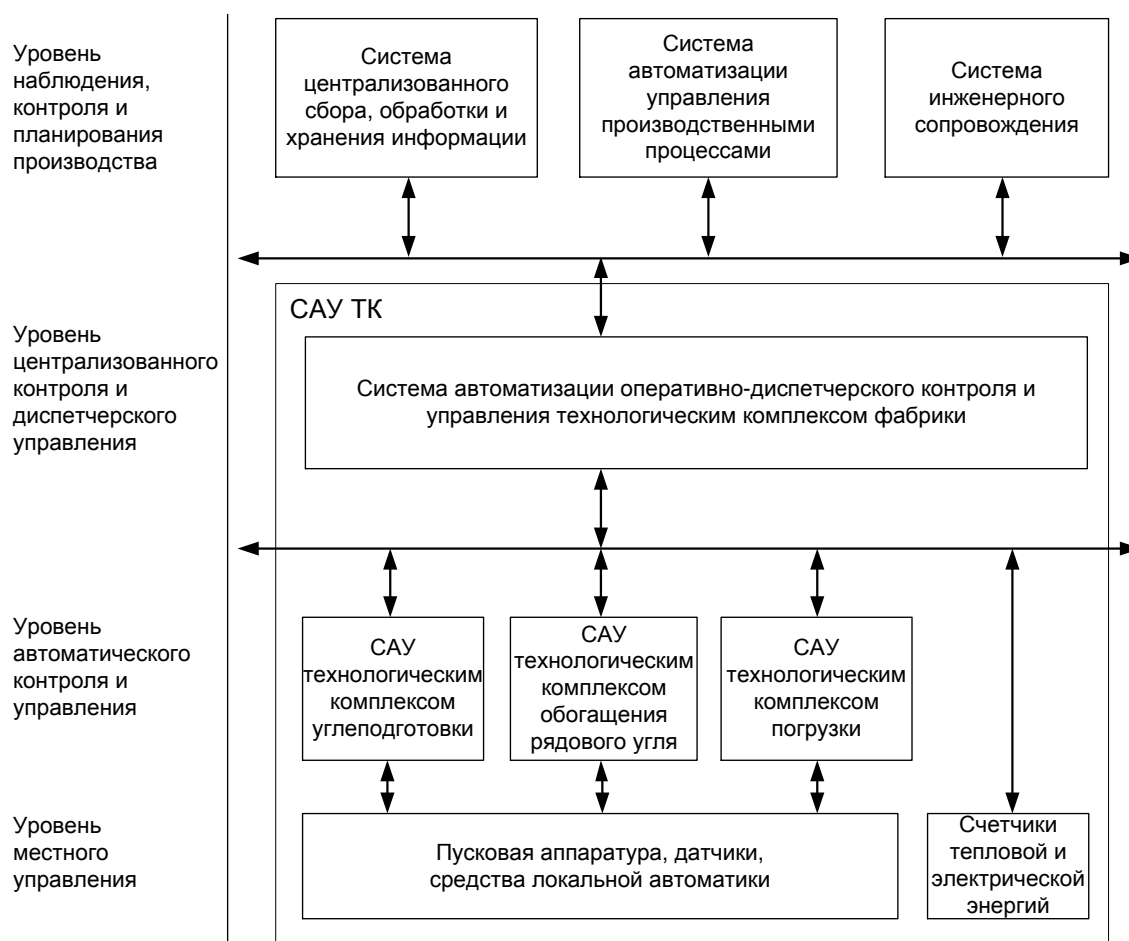


Рисунок 1 – Функциональная структура САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая»

Техническая структура САУ ОФ (рисунок 2) реализована как двухуровневая система, построенная на базе микропроцессорных программируемых контроллеров, серверов, персональных компьютеров, НМІ-терминалов и разнообразного коммуникационного оборудования.

Особенность обогатительной фабрики «Калтанская-Энергетическая» заключается в том, что технологический комплекс главного корпуса полностью укомплектован импортным оборудованием, в качестве программно-аппаратных средств САУ использована продукция корпорации Schneider Electric (Франция).

Для построения системы «нижнего» уровня САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» использовались программируемые логические контроллеры (ПЛК) Modicon Quantum от Schneider Electric. Контроллеры Quantum, предлагая большой выбор процессоров, отлично подходят для сложных процессов, и их производительность обеспечивает:

- оптимальное время циклов, объединяя еще больше возможностей обмена данными и диагностики, гибкость памяти и хранение данных;
- максимальную производительность при работе с логическими инструкциями и инструкциями с плавающей запятой.

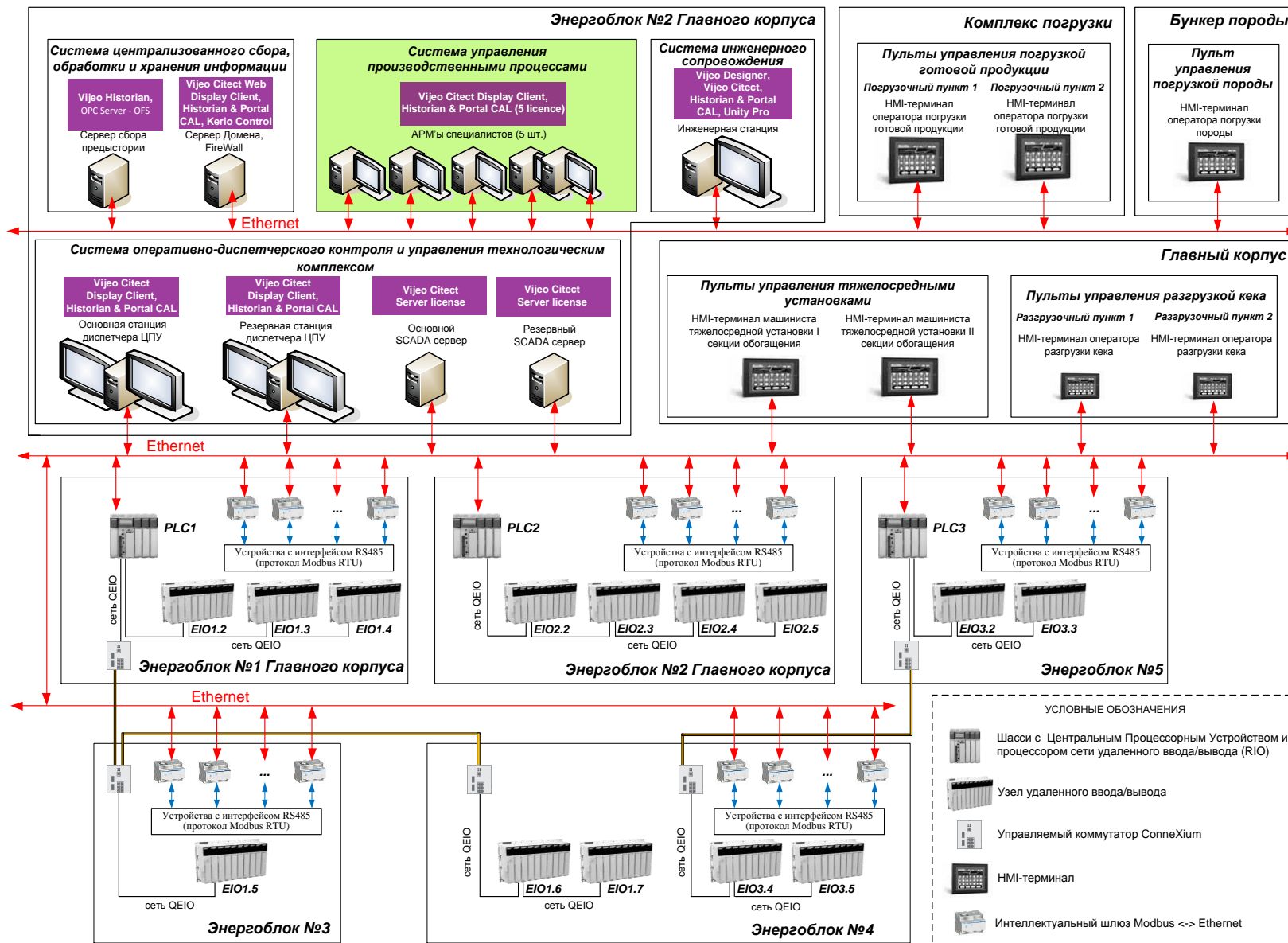


Рисунок 2 – Укрупненная техническая структура САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая»

Для построения системы «верхнего» уровня САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» был использован пакет прикладных программ Vijeo Schneider Electric, в частности, следующие компоненты:

1) Серверы ввода-вывода (OPC Server – OFS), посредством которых собирается производственная информация из подсистемы «нижнего» уровня.

2) Два сервера сбора предыстории Vijeo Historian (основной и резервный). В них аккумулируется информация о работе оборудования САУ ОФ, произошедших событиях, повлекших простой оборудования или создание аварийной ситуации, а также о действиях персонала. Информация, накопленная на серверах Vijeo Historian, обрабатывается и публикуется на портале в любом требуемом и удобном для восприятия виде: графиков, таблиц, диаграмм, текста. Доступ к такой информации возможен с рабочего места диспетчера, либо с рабочей станции АРМ специалиста. В случае выхода из строя основного сервера сбора предыстории Vijeo Historian его функции принимает на себя резервный сервер, переключение происходит автоматически в реальном времени. Такой вариант резервирования обеспечивает повышенную отказоустойчивость системы и сохранность данных.

3) Два SCADA-сервера Vijeo Citect Server (основной и резервный). Они осуществляют сбор и передачу данных реального времени на станции диспетчера и АРМы специалистов.

4) Средства визуализации данных Vijeo Citect Display Client.

5) Программное обеспечение для анализа данных и подготовки отчетности Vijeo Citect Historian & Portal CAL.

6) Программное обеспечение инженерной станции: Vijeo Citect, Vijeo Historian, Vijeo Designer и Unity Pro. Инженерная станция обеспечивает инструментальную поддержку изменений информационного и прикладного программного обеспечения САУ ОФ, а также решение задач производственно-исследовательского характера.

Из полученного опыта разработки прикладного программного обеспечения САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» и работы с пакетом прикладных программ Vijeo следует отметить следующие ключевые, на наш взгляд, моменты и особенности:

1. Возможность быстрого и легкого развертывания распределенной системы, состоящей из серверов, диспетчерских станций, операторских терминалов, АРМов специалистов, инженерной станции.

2. Создание и использование единого информационного пространства САУ ОФ, начиная с уровня контроллеров, уровня SCADA и HMI-терминалов и зачисляя серверами сбора предыстории. Переменные САУ создаются только один раз, например, при программировании контроллеров. И в дальнейшем они без проблем переносятся в конфигурацию SCADA-системы и в базу данных сервера сбора предыстории. Те же самые переменные используются при создании интерфейса HMI-терминалов.

3. Возможность использования как локализованных – привязанных к определенному адресу в области памяти контроллера, так и динамических (нелокализованных) переменных – не требующих ручной привязки по адресам переменных. Такой подход увеличивает скорость разработки и снижает вероятность возникновения ошибок при распределении адресного пространства, сокращая сроки пуско-наладочных работ.

4. Наличие многопользовательского доступа при разработке и изменении SCADA-проекта. К SCADA-проекту, расположенному на удаленной станции, могут подключаются все разработчики. Тем самым достигается возможность совместной работы без необходимости отслеживания изменений, внесенных другими разработчиками.

5. Автоматическое тиражирование проекта на все SCADA-станции. Изменения, внесенные в SCADA-проект с инженерной станции, автоматически переносятся на все SCADA-узлы, без необходимости перезагрузки. Тем самым обеспечивается бесперебойный процесс управления производством.

6. Гибкая схема распределения прав пользователей системы по группам, ролям в зависимости от приоритета и выполняемых функций: оператор, диспетчер, специалист АРМа, администратор позволяет обезопасить систему от несанкционированного вмешательства в

технологический процесс.

7. Организация «горячего» резервирования как SCADA-серверов, так и диспетчерских станций. Переключение с основного на резервный сервер осуществляется практически мгновенно, не создавая неудобств диспетчеру.

8. Наличие встроенной библиотеки символов и ActiveX-элементов. Разработка мнемосхемы ТК ОФ значительно ускоряется и упрощается за счет использования имеющихся в библиотеке элементов. Нет необходимости разрабатывать с нуля необходимый функционал, достаточно лишь адаптировать элементы библиотеки под существующие условия.

9. Богатый набор драйверов ввода/вывода позволяет обмениваться информацией с оборудованием практически всех мировых производителей контроллеров, что весьма удобно при сопряжении со средствами автоматизации, поставляемыми комплектно с оборудованием.

10. Оперативная и квалифицированная работа службы поддержки Schneider Electric. Помощь в разрешении проблем оказывается в течение 1 – 2 дней, как по электронной почте, так и в личном общении по телефону. Помимо этого, информационная поддержка осуществляется на сайте компании в разделе «Ответы на часто задаваемые вопросы» и на форуме разработчиков продуктов Vijeo.

Вывод. САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» может служить прототипом для большинства проектируемых и реконструируемых углеобогажительных фабрик. Многие программно-технические решения с незначительными корректировками можно использовать для создания САУ предприятиями горной отрасли.

Библиографический список

1. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода. Т.2. Системы автоматизации производственного назначения / Под. ред. Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Наука, 2006. – 483 с.
2. Сазыкин Г.П. Проектирование и строительство углеобогажительных фабрик нового поколения/ Г.П. Сазыкин, Б.А. Синеокий, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: СибГИУ. 2003. – 126 с.
3. Алгоритмы и системы автоматизации управления объектами угольной промышленности. Монография / А.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер и др. // Новокузнецк: СибГИУ, 2008. – 116 с.
4. Myshlyayev L.P. Similarity of control systems / L.P. Myshlyayev, V.F. Evtushenko, D.G. Berezin, K.A. Ivushkin // Steel In Translation. – 2012. – Т.42. – № 12. – P. 823–824.
5. Ивушкин А.А. Планирование создания и испытание автоматизированных промышленных комплексов (на примере углеобогажительных фабрик): учеб. пособие / А.А.Ивушкин, В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 104 с.

СОГЛАСОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ, ОПТИМИЗАЦИИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩЕГОСЯ РЕЦИКЛАМИ И ВЗАИМОВЛИЯНИЕМ УПРАВЛЕНИЙ

Кулаков С.М., Горопов Д.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Колонна синтеза аммиака (КСА) имеет особенности, делающие сложным процесс разработки системы управления параметрами, характеризующими химический процесс превращения азота и водорода на катализаторных полках внутри нее. К таким особенностям относится [1]:

– Взаимовлияние управлений: при изменении положения одной из 5 задвижек регулирующих расходы по потокам изменяется не только расход данного потока, но и расходы

по соседним линиям (рисунок 1).

– Обратные связи по тепловым потокам: для увеличения производительности колонны (повышения степени конверсии) используются внутренние теплообменники позволяющие снизить температуру газа после катализаторной полки перед входом газа на следующую, и нагреть свежий газ, так как начало реакции возможно только при достижении определенной температуры.

– Существующая система оценки, основанная на анализе выхода аммиака после его конденсации из синтез газа и выдаче на склад, не позволяет достаточно точно оценить работу управляющей системы, так как на данный показатель влияет работа вспомогательного оборудования осуществляющего выработку холода (Абсорбционные аммиачные холодильные установки).

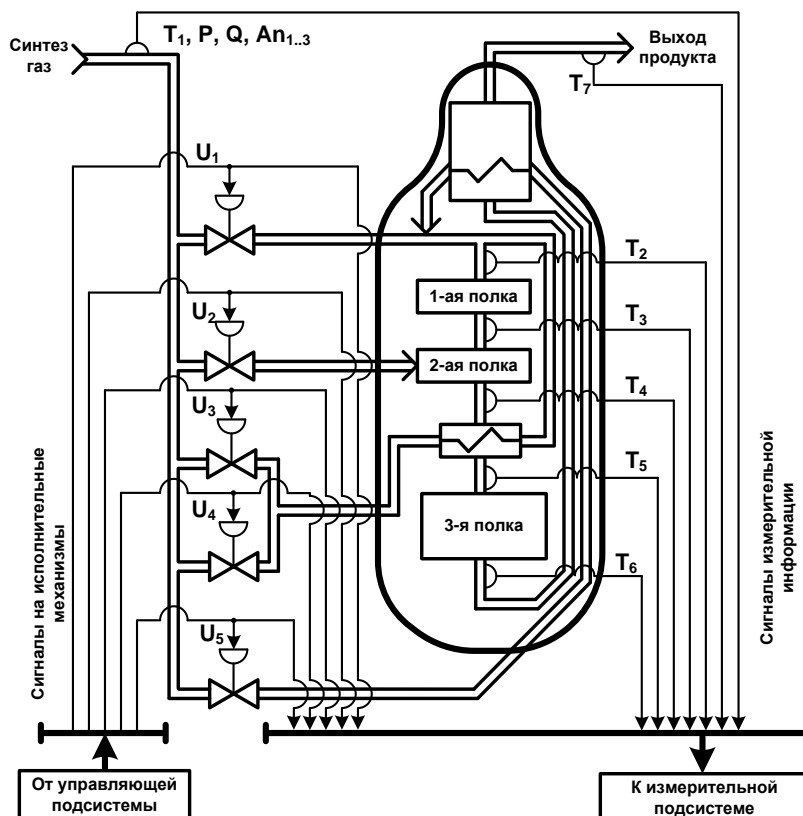


Рисунок 1 – Концептуальная схема предлагаемой системы управления

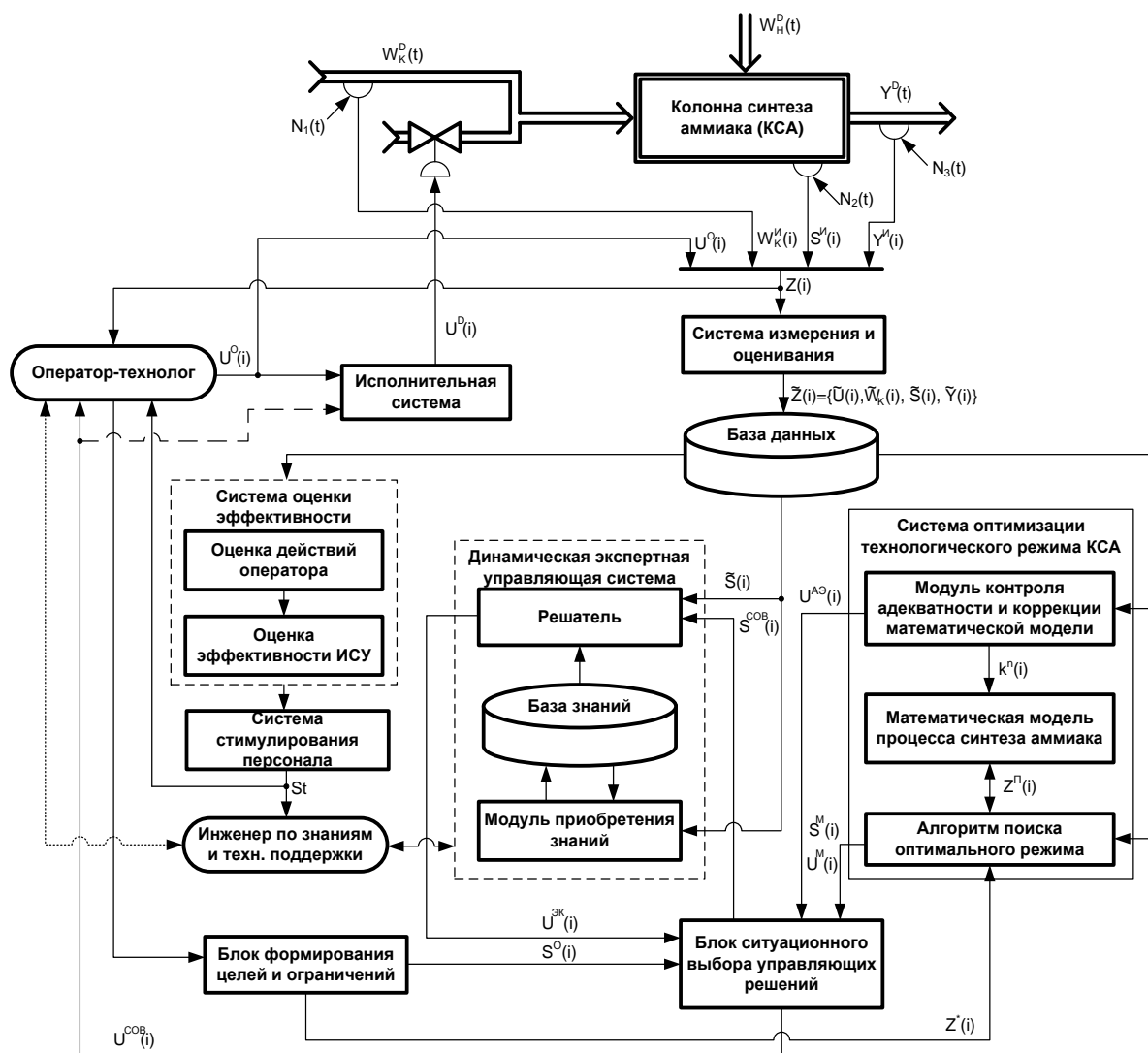
Решить данные проблемы: наличие у объекта управления взаимовлияний управлений и внутренних обратных связей, а так же отсутствие системы оценки эффективности технологического режима КСА, позволяет использование в системе управления математической модели процесса синтеза КСА (рисунок 2).

В ходе анализа были определены недостатки математического моделирования: снижение точности прогнозирования из-за работы натурно-действующей системы управления, выражающееся в стабилизации технологических параметров.

Для решения данной задачи в работу СУ добавлен алгоритм проведения активного эксперимента путем реализации малых управляющих воздействий [2], на рисунке 2 представлен как *Модуль контроля адекватности и коррекции математической модели*. Управляющие воздействия подобраны таким образом, чтобы не оказывать значительного влияния на технологический режим, и при этом возмущения технологических параметров были достаточными для построения математической модели. Данный модуль выполняет несколько функций: в случае отсутствия адекватности математической модели проверяет, удовлетворяют ли данные имеющиеся в базе данных определенным требованиям, если удовлетворяет,

то обновляет коэффициенты математической модели $k^n(i)$, если нет, то выдает рекомендации для проведения активного эксперимента $U^{AЭ}(i)$. Блок *ситуационного выбора управляющих решений* в зависимости от данных полученных от *Системы оптимизации технологического режима КСА* выполняет следующие операции:

- в качестве совета оператору-технологу передает $U^M(i)$ – значения управляющих воздействий, соответствующих наибольшей производительности КСА по аммиаку;
- в качестве совета оператору-технологу передает рекомендации по проведению активного эксперимента $U^{AЭ}(i)$;
- если точность математического моделирования соответствует требованиям, но отличие оптимальной расчетной производительности от текущей не превышает погрешность прогнозирования, то система управления переходит в режим регулятора. Тогда в качестве совета интеллектуальная система управления выдает решение от динамической экспертной управляющей системы $U^{ЭК}(i)$.



U – управляющие воздействия; W_K, W_H – контролируемые и не контролируемые возмущающие воздействия; S – параметры состояния; Y – выходные параметры;
 N – помеховые воздействия; St – стимулирующие воздействия

Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления КСА

В режиме регулятора функцию по выработке управляющих решений берет на себя *Динамическая экспертная управляющая система (ДЭУС)*, функционирующей по правилам,

разработанным с использованием опыта операторов-технологов, и формализованных в виде набора нечетких правил. Задания для регулятора могут поступать как от оператора $S^O(i)$, так и от *Системы оптимизации технологического режима КСА* $S^M(i)$. Во втором случае СУ будет поддерживать технологический режим на уровне близком к оптимальному. В этом режиме СУ работает до тех пор, пока не изменятся значения возмущающих воздействий на столько, чтобы не появился новый оптимальный технологический режим.

Таким образом, из-за постоянно меняющихся внешних возмущающих воздействий, часть из которых не контролируется, работа управляющей системы возможна в двух режимах: в режиме компенсации возмущений, и стабилизации технологического режима в границах уставок, которые могут быть заданы оператором, либо получены в результате моделирования. Второй режим анализ эффективности действующего технологического режима и его оптимизации поисковым методом с использованием математического моделирования и пробных малых воздействий.

Библиографический список

1. Кулаков С.М., Торопов Д.В. Построение статической модели объекта при разработке экспертной системы управления колонной синтеза аммиака / Сборник трудов конференции AS'-2011 «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» – Новокузнецк, 2011 г. – С. 260 – 263.
2. Кулаков С. М., Торопов Д. В. Комплексирование методов математического моделирования химико-технологического процесса в колонне синтеза аммиака / Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 10. – С. 41 – 45.

ФИЛЬТРАЦИЯ МАТЕРИАЛОПОТОКОВЫХ СИГНАЛОВ СМЕСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Симикина А.А., Федосенков Д.Б., Судаков И.В., Федосенков Б.А.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Для описания выходного – по отношению к смесительному устройству агрегата – модифицированного сигнала материалопотока, имеющего форму время-частотного распределения (одного из распределений класса Л. Коэна [1]), обозначим скалярную передаточную функцию, время-зависимую по своей структуре, в виде

$$H(t, \omega) = Coh\{x_i(t)\} / Coh\{x_o(t)\}, \quad (1)$$

где $Coh\{x_i(t)\}$ и $Coh\{x_o(t)\}$ – соответственно время-частотные распределения класса Коэна входного и выходного одномерных сигналов материалопотока. Тогда распределение выходного сигнала смесительного устройства

$$Coh_o(t, \omega) = H(t, \omega)Coh_i(t, \omega), \quad (2)$$

где $Coh_i(t, \omega) \equiv Coh\{x_i(t)\}$; $Coh_o(t, \omega) \equiv Coh\{x_o(t)\}$.

Выходной одномерный сигнал $x_o(t)$ может быть определен как

$$x_o(t) = \int_0^t S_i(t')h(t, t')dt', \quad (3)$$

где $h(t, t')$ – импульсная переходная характеристика (функция веса) смесительного

устройства. В этом случае связь между время-частотными модифицированными входными и выходными сигналами может быть записана так:

$$Coh_o(t, \omega) = \int_0^t \int_0^{\omega} K(t, \omega; t', \omega') Coh_i(t', \omega') dt' d\omega'. \quad (4)$$

Прямой расчет дает выражение

$$K(t, \omega; t', \omega') = \frac{1}{8\pi^3} \int_0^t \exp\{-j[\omega\tau - \omega'\tau' - \theta(u-t) + \theta'(u'-t')]\} \frac{\Phi(\theta, \tau)}{\Phi(\theta', \tau')} \times \\ \times h^*\left(u - \frac{\tau}{2}, u' - \frac{\tau'}{2}\right) h\left(u + \frac{\tau}{2}, u' + \frac{\tau'}{2}\right) dud\tau d\theta du' d\tau' d\theta' \quad (5)$$

Например, для распределения Рихачека имеем:

$$K(t, \omega; t', \omega') = \frac{1}{2\pi} h(t, t') S^*(\omega, \omega') \exp(-j\omega t + j\omega' t'), \quad (6)$$

где $S(\omega, \omega') = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_0^{t'} h(t, t') \exp(-j\omega t - j\omega' t') dt dt'$ – спектральная функция импульсной

переходной характеристики смесителя. Здесь $K(t, \omega; t', \omega')$ представляет собой двумерное распределение Рихачека.

Для двумерного распределения Вигнера [2] получим:

$$K(t, \omega; t', \omega') = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_0^{t'} \exp(-j\omega\tau + j\omega'\tau') h^*\left(t - \frac{\tau}{2}, t' - \frac{\tau'}{2}\right) h\left(t + \frac{\tau}{2}, t' + \frac{\tau'}{2}\right) d\tau d\tau', \quad (7)$$

С целью контроля параметра сглаживания флуктуаций материалопотоков на предсмесительной стадии (а это является чрезвычайно важным с точки зрения возможности управления процессом получения смесей высокого качества, поскольку снижение коэффициента пульсаций на входе смесительного устройства ведет к уменьшению коэффициента неоднородности готовой смеси по определенному ингредиенту, и, следовательно, к повышению качества смеси) были получены время-частотные карты (ВЧК) на входе (рисунок 1) и выходе (рисунок 2) смесительного аппарата с внутренним и внешним рецикл-каналами.

На рисунке 1 изображены три осциллограммы, соответствующие:

- регистрируемому сигналу расхода на входе в смесительное устройство, то есть сигнал суммарного расхода блока дозирующих устройств на предсмесительной стадии;
- сигналу, восстановленному (реконструированному) согласно алгоритму вейвлет-поиска соответствия (ВПС) [3];
- текущей ошибке аппроксимации реального сигнала расхода его вейвлет-рядом, а также время-частотная карта восстановленного сигнала расхода на входе смесительного устройства (так называемая карта Вигнера текущего 1D-сигнала расхода, выполненная в двумерном формате с отображением третьего измерения – интенсивности сигнала – в цвете).

При этом сигнал блока мультидозирования формировался пятью дозаторами следующих типов:

- двух шнековых дозаторов, работающих в режиме порционного дозирования (частотные режимы работы 0,82 Гц (T = 1,22 с) и 0,996 Гц (T = 1,13 с));
- двух спиральных дозаторов, работающих в режиме биений; рабочие частоты 2,03 Гц (T = 0,49 с) и 2,50 Гц (T = 0,39 с); в этом случае суммарная осциллограмма этих двух

сигналов содержит результирующую низкочастотную компоненту с частотой, равной разности рабочих частот дозаторов. Как видно из рисунков 1 и 2, на время-частотной карте эти два сигнала отчетливо разделены;

– спирального дозатора при перестройке режима работы (сбросе нагрузки) – при изменении режима работы от 3,32 Гц ($T = 0,30$ с) до 6,12 Гц ($T = 0,16$ с).

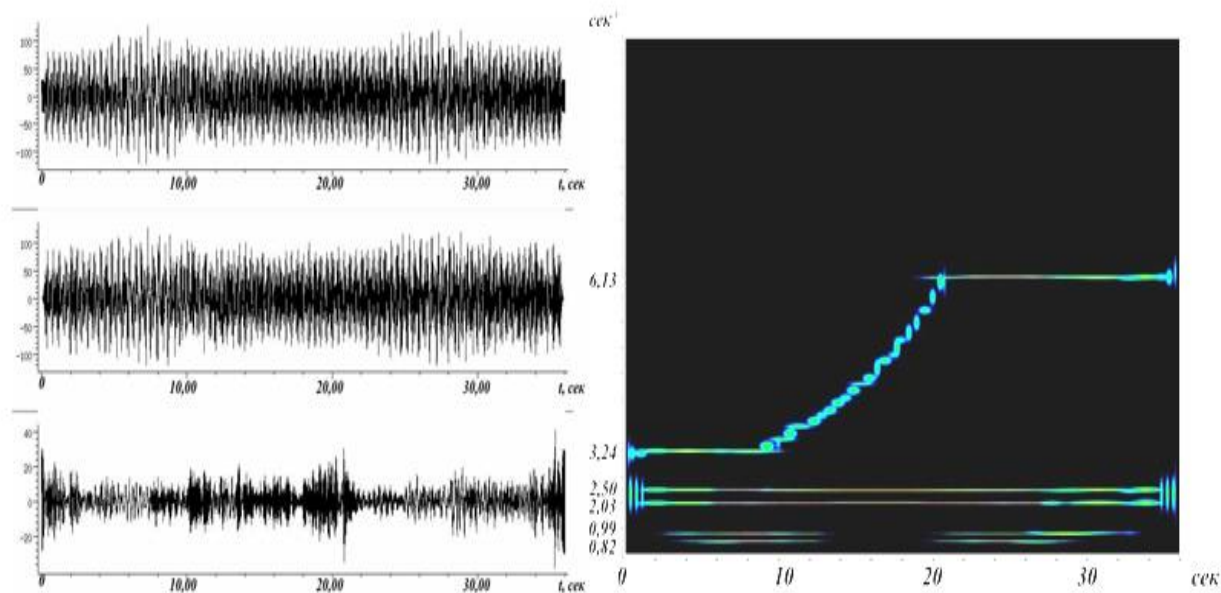


Рисунок 1 – Сигнал расхода, восстановленный по ВПС-алгоритму сигнал, ошибка адаптивной аппроксимации и его ВЧК на предсмесительной стадии

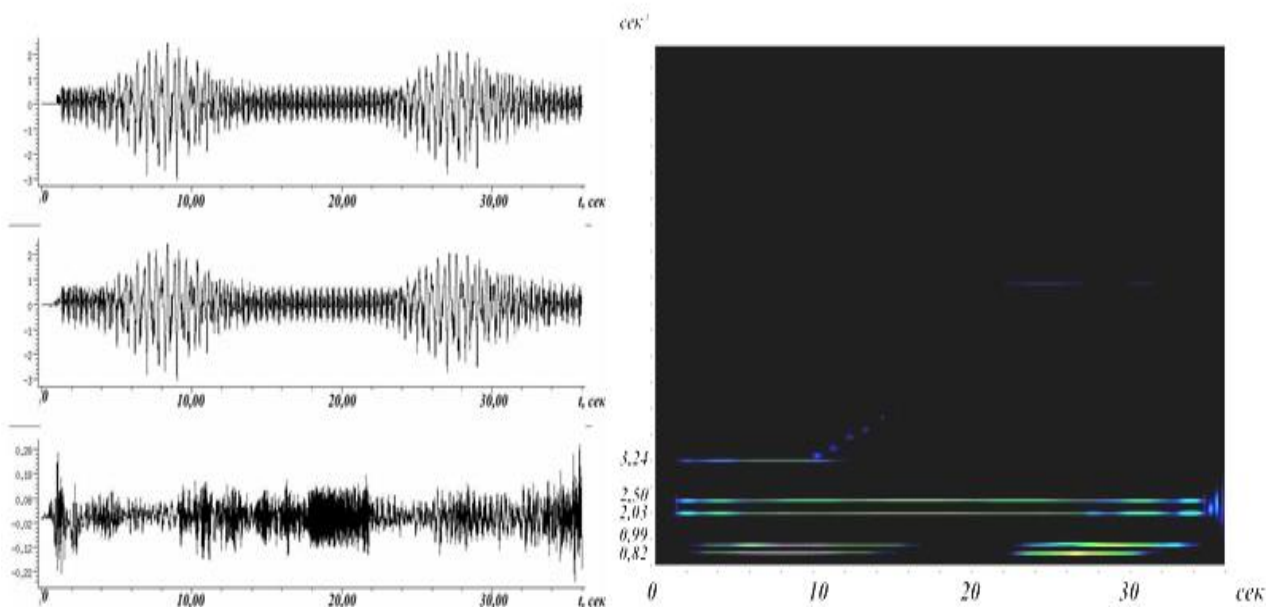


Рисунок 2 – То же на выходе смесительного устройства

Эффективное управление динамикой процессов смесеприготовления возможно на основе комплексного анализа сигналов материалопотока во временной и время-частотной областях. Для этих целей подходят сигналы материалопотока, зафиксированные на предсмесительной стадии, стадии смешивания (сигналы в глобальном и локальном рецикл-каналах) и на выходе смесеприготовительного агрегата.

Поскольку элементы технологической части системы (смеситель и каналы направлен-

ной организации потока) на модельном уровне аппроксимированы звеньями первого/второго порядка и обладают свойствами низкочастотного фильтра, то определенные высокочастотные составляющие сигнала материалопотока, имеющие место на этапе дозирования, могут отсутствовать в спектре сигнала на выходе СМПА и/или в локальном, глобальном рецикл-каналах, и, следовательно, их невозможно использовать для целей управления, т.е. сигналы материалопотока, регистрируемые на выходе смесительных аппаратов, пригодны для управления дозирующими устройствами, работающими с относительно низкими частотами в спектре материалопотоковых сигналов.

Так, анализ рисунка 2 показывает, что на выходе смесительного устройства отсутствуют время-частотные атомы, характерные для режима перестройки работы спирального дозирующего устройства (см. рисунок 1). Отчетливо идентифицируются картой Вигнера только атомы на частотах, не превышающих 3,3 Гц. Таким образом, с точки зрения эффективности управления динамикой процесса смесеприготовления оптимальным является использование модифицированных переменных в виде время-частотных карт на предсмесительной стадии.

Библиографический список

1. Cohen, L. Time-frequency Analysis / L. Cohen. – Englewoods Cliffs: Prentice-Hall, 1995.
2. Not necessary but sufficient conditions for the positivity of generalized Wigner functions / G. Mourgues, M.R. Feix, J.C. Andrieux, and P. Bertrand // J. Math. Phys. – 1985. – Vol. 26. – P. 2554-2555.
3. Mallat, S. Matching pursuit with time-frequency dictionaries / S. Mallat and Z. Zhang // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1993. – Vol. 41, № 12. – P. 3397-3415.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА ОТКЛОНЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ОТ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА*

Спирин Н.А., Истомина А.С., Оморин О.П., Лавров В.В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Современный процесс выплавки чугуна в доменной печи подвержен влиянию многих переменных контролируемых и неконтролируемых факторов, которые вызывают нарушения хода печи и ее теплового состояния и требуют высокой квалификации технологического персонала при управлении доменной плавкой.

Одним из способов диагностики и управления ходом доменной печи в настоящее время является использование экспертных систем, включающих в себя как детерминированные знания о процессе, так и формализованный практический опыт специалистов-доменщиков. В общем случае такие системы должны иметь навыки суждений о ходе доменной плавки по различным признакам, правильно анализировать их и помогать производственному персоналу своевременно предупреждать возможные отклонения от нормального режима, применяя различные технологические приемы воздействия на ход доменной плавки. Для этих целей существует множество математических моделей, но, в большинстве случаев, их основной проблемой является недостоверность значений входящих в них параметров. До сих пор актуальными остаются вопросы создания информационно-логической

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановление № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.А03.21.0006.

системы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима. Логические основы распознавания вида отклонения от нормального режима доменной плавки изложены в работах [1 – 14].

Для анализа данных, необходимых для выявления расстройств хода печи, необходимо в комплексе рассмотреть показатели плавки, и работу печи в целом. Делая вывод на основе данных о химическом составе газа, качестве материалов, тепловом состоянии печи и другими сведениями об условиях плавки, необходимо выявить основные факторы и увязать их с изменениями технологических параметров.

Целью контроля над ходом доменной печи, является своевременное принятие мер для установления причин расстройства печи и восстановления нормального хода в максимально короткие сроки. Поэтому главной задачей является предупреждение нарушений и наиболее быстрое восстановление нормальной работы печи, в случае их возникновения.

Разработанный программный продукт проводит анализ работы печи по таким параметрам как: температура периферийных газов, температура газов по газоотводам печи, параметры дутья, колошникового газа и перепады давления, а так же распределение температур по диаметру колошника и состав продуктов доменной плавки. На основе значений этих параметров, проводится расчет, результатом которого является вывод о состоянии хода печи и в случае отклонения – о возможной причине нарушения хода.

Программа предназначена для оперативного предоставления производственному персоналу полного объема информации о ходе процесса плавки. Ее использование позволит упростить управление технологическим процессом, повысить эффективность производства, уменьшить вероятность простоев оборудования и аварий.

Первым этапом в разработке программного продукта было создание функциональной модели. Ее разработка была выполнена в программе AllFusion Process Modeler (BPwin) по стандарту IDEF0 (Integrated computer aided manufacturing DEFinition) [15]. Использование методики IDEF0 позволило создать функциональную структуру программного комплекса, выявить производимые им действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции, что, в конечном итоге, позволило на ранней стадии проектирования предотвратить возможные ошибки.

Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели составляет 90. Фрагмент диаграммы 1-го уровня функциональной модели подсистемы прогнозирования возникновения отклонений в ходе доменной плавки, представленный на рисунке 1, включает следующие функции:

– «*Осуществить сбор и первичную обработки данных*» (A1) обеспечивает автоматическое наполнение системы данными из АСУ ТП и корпоративной информационной системы (КИС). Сбор первичных данных производится в строго регламентированные моменты времени, которое установлено согласно требованиям инженерно-технологического персонала доменного цеха. Выходная информация служит источником для всех других подсистем;

– «*Выявление признаков нормальной работы доменной печи*» (A2) обеспечивает пересчет и анализ признаков отклонения параметров: отклонение расхода дутья; отклонение давления дутья; отклонение температуры дутья; отклонение общего перепада давления; отклонение нижнего перепада давления; отклонение верхнего перепада давления; окружная неравномерность температуры газа; распределение температуры колошникового газа; отклонение усредненной температуры колошникового газа; отклонение содержания Si в чугуна; отклонение содержания CO₂ колошникового газа; отклонение температуры чугуна; отклонение основности шлака.

– «*Определить признаки отклонения от нормального режима доменной плавки*» (A3) обеспечивает пересчет и анализ таких отклонений как: периферийный газовый поток; центральный газовый поток; горячий ход плавки; холодный ход плавки; тугой ход плавки; верхние подвисание шихты; нижние подвисания шихты; количество срабатываемых подач.

– «Формирование рекомендаций по технологиям ведение доменной плавки» (А4) на основании выявленных отклонений, происходит формирование рекомендации по корректровке ведения плавки.

Результаты функционального моделирования позволили в дальнейшем перейти к следующим этапам разработки системы – созданию архитектуры и реализации программного обеспечения системы.

На рисунке 2 продемонстрирована архитектура программного обеспечения информационной системы, в которой выделены основные компоненты ее программной реализации.

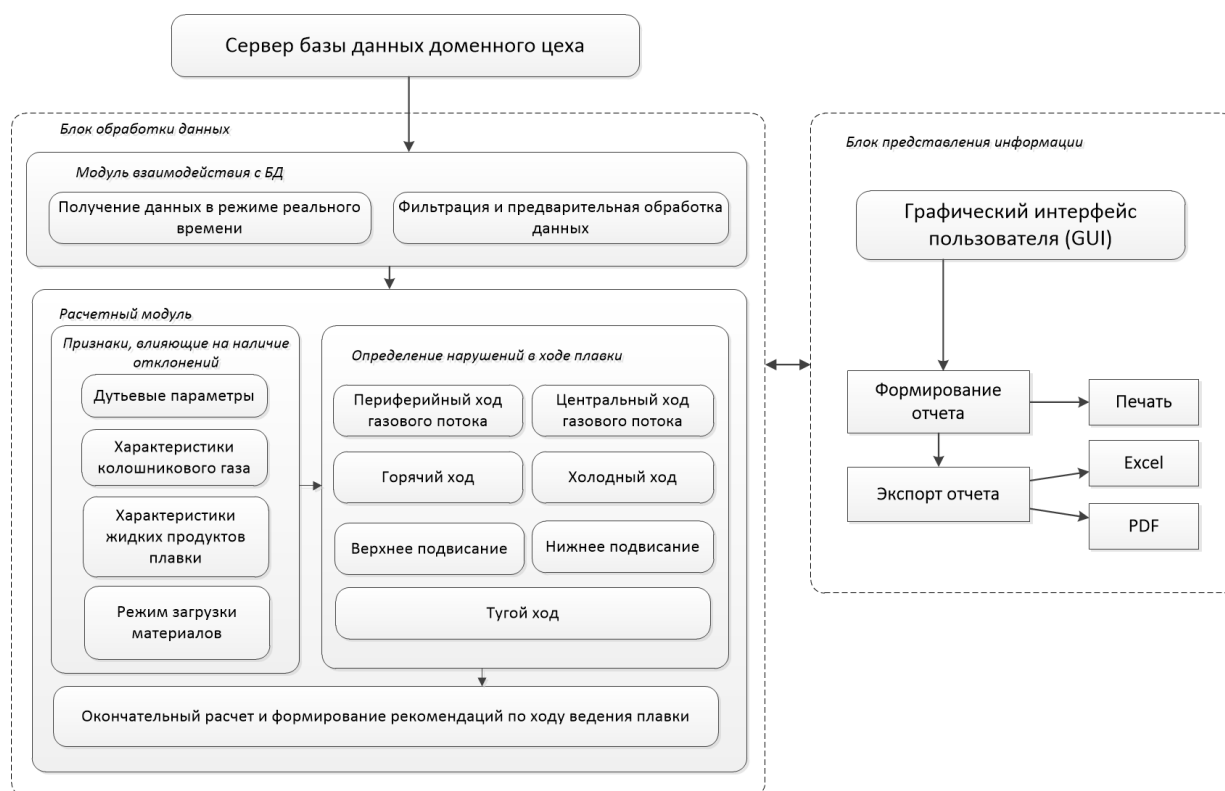


Рисунок 2 – Архитектура программного обеспечения

Архитектуру программного продукта условно можно разделить на несколько частей, первая представляет собой математическую библиотеку на основе проведенных и формализованных расчётов. Используя предварительно обработанный набор данных, расчётный модуль выполняет начальную стадию вычислений, суть которой заключается в том, чтобы проанализировать максимум возможных параметров, влияющих на возможность того или иного нарушения процесса плавки, а затем выполняет финальный расчет, на основании которого можно будет сделать вывод о наметившейся тенденции к определенному типу отклонения хода плавки.

Используя предварительно обработанный набор данных, расчётный модуль выполняет начальную стадию вычислений, суть которой заключается в том, чтобы проанализировать максимум возможных параметров, влияющих на возможность того или иного нарушения процесса плавки, а затем выполняет финальный расчет, на основании которого можно будет сделать вывод о наметившейся тенденции к определенному типу отклонения хода плавки. Вторая часть – это модуль, ответственный за работу с базой данных; он решает такие задачи как обеспечение приложения данными в режиме реального времени, фильтрацию данных, их усреднение и предоставление в том виде, в котором их можно было бы использовать в алгоритме. Другая часть представляет собой пользовательский интерфейс, ко-

торый включает в себе основные функции для слежения за состоянием хода доменной печи. На текущий момент эта часть реализована в виде настольного приложения, однако благодаря такому архитектурному подходу в любой момент презентационная логика может быть легко реализована, например, в виде web-приложения или службы, уведомляющей о состоянии печи посредством мобильных устройств.

Программное обеспечение «Распознавание вида отклонений доменной плавки» разработано в соответствии с современными принципами построения прикладных программ (функциональность, расширяемость, интеграция с базами данных, интуитивно-понятный пользовательский интерфейс, безопасность, оценивание информации). Программный модуль является частью системы оптимизации технологического процесса доменной плавки, входит в состав автоматизированной информационной система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «ММК» и предназначен для инженерно-технологического персонала.

В основе программной реализации лежит технология .NET, что дает дополнительную свободу при выборе платформы, а также языка программирования. Программный продукт написан на языке C# с использованием среды разработки Microsoft Visual Studio 2012 [16].

Программный продукт производит следующие действия. Сначала программа загружает из базы данных значения параметров, используемых в расчёте, в частности температуру газов по газоотводам печи, температуру периферийных газов, параметры дутья, параметры колошниковога газа и перепады давления, распределение температур по диаметру колошника, состав жидких продуктов доменной плавки. Далее используется созданная математическая библиотека, с помощью которой пересчитываются и анализируются значения признаков и весовых функций.

Для удобства использования рассматриваемые признаки объединены в следующие группы:

- признаки, характеризующие дутьевые параметры;
- колошниковый газ;
- жидкие продукты плавки;
- режим загрузки материалов.

Программа производит расчёт весовых функций для распознавания вероятности:

- нормального режима работы доменной печи;
- нарушения устойчивости газового потока (наличие периферийного или центрального газового потока);
- нарушение теплового режима доменной плавки (горячий или холодный ход);
- нарушение ровного схода шихты в доменной печи (тугой ход, верхнее или нижнее подвисание шихты).

Результат вычисления весовых функций, свидетельствующий о вероятности наличия или отсутствия соответствующих отклонений в ходе доменной плавки, предоставляется пользователю в численном и графическом виде.

В качестве примера на рисунке 3 представлено главное окно программы, в котором отражено состояние работы доменной печи. При анализе учитываются три типа нарушений: нарушения теплового режима, нарушения газового хода и нарушения режима схода шихты. Для каждого из отклонений указано его состояние, а также есть возможность предоставления подробной информации по отклонению. На форме, изображенной на рисунке 3, в виде графиков показана информация о параметрах, влияющих на вероятность возникновения определенного отклонения.

Разработанный программный продукт позволяет пользователю оперативно выявлять наличие отклонения от нормального хода плавки и определять его тип по фактическим данным работающей печи, предоставляет ему возможность в любой момент просмотреть графическую информацию по каждому из параметров, используемых при расчете отклонений. Использование информационно-логической системы помогает производственному персону

налу осуществлять диагностику хода печи в режиме реального времени, а также решать оперативные задачи управления технологией доменной плавки.

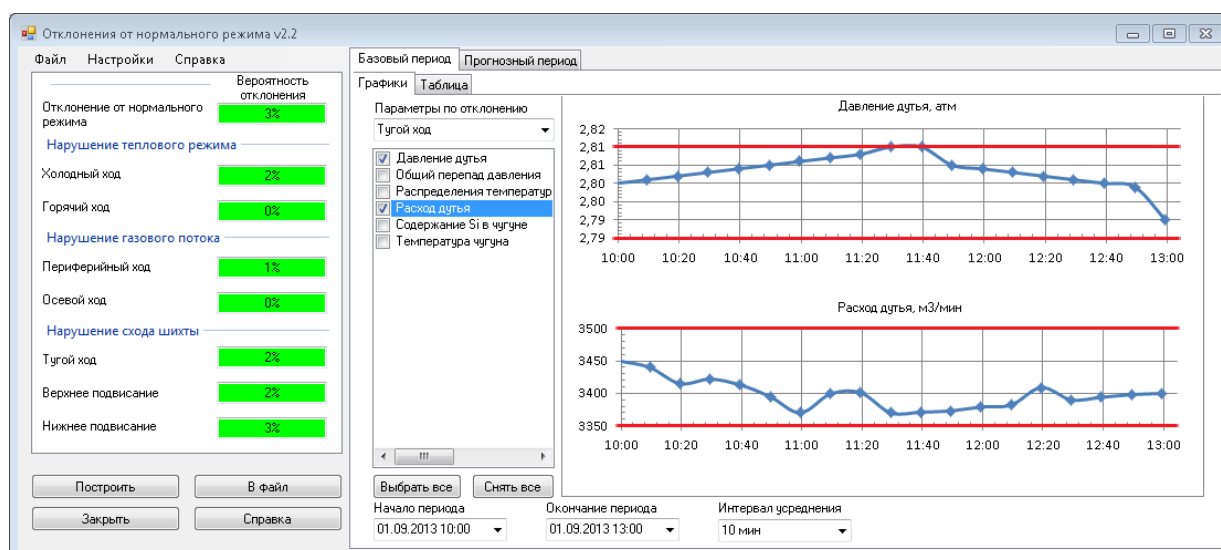


Рисунок 3 – Фрагмент окна программного обеспечения для распознавания вида отклонений доменной плавки от нормального режима

Библиографический список

1. Логические основы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима/ О. П. Онорин, Н. А. Спириин, А.В. Павлов, В.В. Лавров, А. С. Истомина. Известия вузов. Черная металлургия, 2014, № 8. С.8-12.
2. Экспертная система для диагностики и регулирования хода доменной печи / В.И. Соловьев, В.А. Краснобаев, Ю.А. Сарапулов, Е.А. Павлов // Международная научно-техническая конференция «Теория и практика производства чугуна», 24–27 мая 2004 г.: труды. Украина; Кривой Рог, 2004. С. 484–487.
3. Экспертная система управления ходом доменной плавки / М.М. Френкель, Ю.В. Федулов, О.А. Белова, В.А. Краснобаев // Сталь. 1992. №7. С.15–18.
4. Информационные системы в металлургии // Н.А. Спириин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов [и др.]; под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
5. Спириин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В., Онорин О.П., Косаченко И.Е. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 462 с.
6. Онорин О.П., Спириин Н.А., Терентьев В.Л. [и др.] Компьютерные методы моделирования доменного процесса / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
7. Спириин Н.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП/ Н.А.Спириин, В.В.Лавров, В.Ю.Рыболовлев [и др.]. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014.- 558 с.
8. Юсфин Ю.С. Металлургия чугуна /Под ред. Ю. С. Юсфина. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
9. Lida O. Применение управляющей системы и искусственным интеллектом в доменном производстве. Application of a techniques to blast furnace operation / O.Lida, S.Taniyochi, T.Hetani // Kawasaki Steel Techn Dept, 1992, №26. – С. 30–37.
10. Power D. J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems, Long Beach, California, 2000.
11. Application of expert systems and knowledge based systems to support operation of iron blast

- furnace / E. Vapaavuori // Expert systems with applications, 1997. Vol. 12, No. 3. Pp. II.
12. Recent progress and future perspective on mathematical modelling of blast furnace / S. Ueda, S. Natsui, T. Ariyama, H. Nogami, J.I. Yagi // ISIJ International, 2010. Vol. 50, No. 7. Pp. 914–923.
 13. Development of mathematical model of blast furnace / S. Matsuzaki, T. Nishimura, A. Shinotake, K. Kunitomo, M. Naito, T. Sugiyama // Nippon steel technical report, July 2006. No. 94. Pp. 87–95.
 14. Modeling of metallurgical continuous processes in the blast furnace / P. Hera, F. Birlan, I. Opreacu, E.-M. Alexandru, M. Hera // U.P.B. Scientific Bulletin, Series B, 2011. Vol. 73. Iss. 4. Pp. 171–182.
 15. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с СА ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler) / В.И. Дубейковский. – М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 384 с.
 16. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. 6-е изд.: пер. с англ. / Э.Троелсен. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 1312 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ, ОСНАЩЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМИ ГОРЕЛКАМИ*

Лисиенко В.Г., Носков В.Ю., Титаев А.А., Ярчук В.Ф.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Совершенствование конструкций и алгоритмов управления нагревательными печами позволяет повысить эффективность их работы, расширить диапазон обрабатываемой в печи номенклатуры металла, получить качественно новые режимы обработки. Существенным улучшением является стабилизация технологических параметров, таких как температура, давление в печи, выбросы вредных веществ и т.д. Внедрение усовершенствований, направленных на стабилизацию режимов работы, упрощает наладку печи, увеличивает эффективность применения методик, основанных на анализе теплофизических процессов в печном пространстве.

Одной из ключевых характеристик работы печи является совокупность параметров, определяющих газодинамический режим в печном пространстве. В работе Блинова О.М. [1] отмечено, что режим скоростей и температур печных газов во многом определяет качество нагрева металла и экономичность работы агрегата. Значительное влияние на стабильность газодинамического режима в печи с импульсной системой отопления оказывает внутripечное давление. Оптимально выбранный режим по давлению позволяет, с одной стороны, минимизировать подсосы холодного воздуха в рабочее пространство печи, а с другой – не допустить существенных теплопотерь с выбиванием. Для поддержания давления, как правило, используется система регулирования, включающая в себя, в качестве сигнала обратной связи, сигнал датчика давления, а в качестве регулирующего органа – заслонку, частично перекрывающую дымоходный тракт печи, (шибер). Сложная геометрия внутripечного пространства и значительные колебания гидродинамических течений в нем, вызванные периодическими включениями и выключениями импульсных горелок, делают обеспечение поддержания избыточного давления во всем объеме печи сложной задачей. Основная трудность здесь состоит в выборе необходимого задания для регулятора давления, поддерживающего требуемый газодинамический режим работы печи в любой момент времени. Несоответствие задания текущему состоянию системы приводит к охлаждению рабочего

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановление № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

пространства, снижению КПД печи, увеличению расхода топлива, а также к повышенному окислению металлических элементов агрегата (нагреваемый металл, трубчатые поверхности паропроводов и т.д.).

Необходимо отметить, что в настоящее время предложены альтернативные подходы к управлению давлением, учитывающие состав печной атмосферы. Так, например, в работе Парсункина Б.Н. [2] предлагается минимизировать подсосы холодного воздуха в печное пространство путем анализа показателя:

$$\Delta\alpha_B(\tau) = \left| \alpha_B^{\text{ВЫХ}}(\tau) - \alpha_B^{\text{ВХ}}(\tau) \right|, \quad (1)$$

где $\alpha_B^{\text{ВХ}}(\tau)$ и $\alpha_B^{\text{ВЫХ}}(\tau)$ – коэффициенты расхода воздуха на входе и выходе из печного пространства соответственно;

τ – время.

Коэффициент $\alpha_B^{\text{ВХ}}(\tau)$ определяется по известным значениям расходов воздуха и топлива, подаваемых в рабочее пространство печи. Коэффициент $\alpha_B^{\text{ВЫХ}}(\tau)$ определяется по формуле:

$$\alpha_B^{\text{ВЫХ}}(\tau) = \frac{21}{21 - O_2(\tau)}, \quad (2)$$

где $O_2(\tau)$ – концентрация кислорода в продуктах сгорания на выходе из печного пространства. Контур стабилизации газодинамического режима использует управляющее воздействие в виде изменения разрежения в дымовом борове (положения дымового клапана). За счет изменения управляющего воздействия значение показателя $\Delta\alpha_a(\tau)$ поддерживается минимально возможным, что позволяет уменьшить количество подсосов и избежать значительного выбивания продуктов сгорания через открытые окна печи.

В данной работе предложено развитие метода управления режимом давления в печи, заключающееся в определении количества подсосов холодного воздуха на основании известной информации о поступлении природного газа и воздуха через горелки, а также содержании кислорода в отходящих продуктах сгорания. Полученная оценка величины подсосов в рабочее пространство используется для корректирования задания регулятора давления в печи. Для реализации предложенной схемы на печи нагрева труб под закалку в цехе №4 ОАО «Первоуральский Новотрубный Завод» был применен контроль содержания кислорода в отходящих дымовых газах. Система газового анализа включает в себя патрубок для отбора дымовых газов, соединенный непосредственно с пространством дымохода, непрерывно работающий вентилятор для подачи дымовых газов в камеру анализа и газоанализатор, определяющий процентное содержание кислорода в камере. На основании измеренных значений концентрации кислорода а также расходов газа и воздуха через горелки вычисляется расход дыма и объем подсосов атмосферного воздуха в рабочее пространство агрегата, определяемый по формуле:

$$G_{\Pi} = G_{\Gamma} \left[\frac{C_K V_0}{0,21 - C_K} - (\alpha - 1) L_0 \right], \quad (3)$$

где G_{Π} – объем подсосов атмосферного воздуха, м³/ч;

G_{Γ} – расход топлива, м³/ч;

C_K – концентрация кислорода в продуктах сгорания, объемные доли;

α – коэффициент избытка воздуха по соотношению «топливо-воздух для горения»;

L_0 и V_0 – теоретически необходимое для горения 1 м^3 топлива количество воздуха и теоретический выход продуктов сгорания на 1 м^3 топлива соответственно, $\text{м}^3/\text{м}^3$. С учетом полученной величины подсосов задание для регулятора давления в печи корректируется так, чтобы достигнуть объема подсосов атмосферного воздуха, равного нулю ($G_{\text{П}} = 0$).

Рассмотрим реализацию описанного способа устройством, представленным на рисунке 1, на примере печи для нагрева труб под закалку.

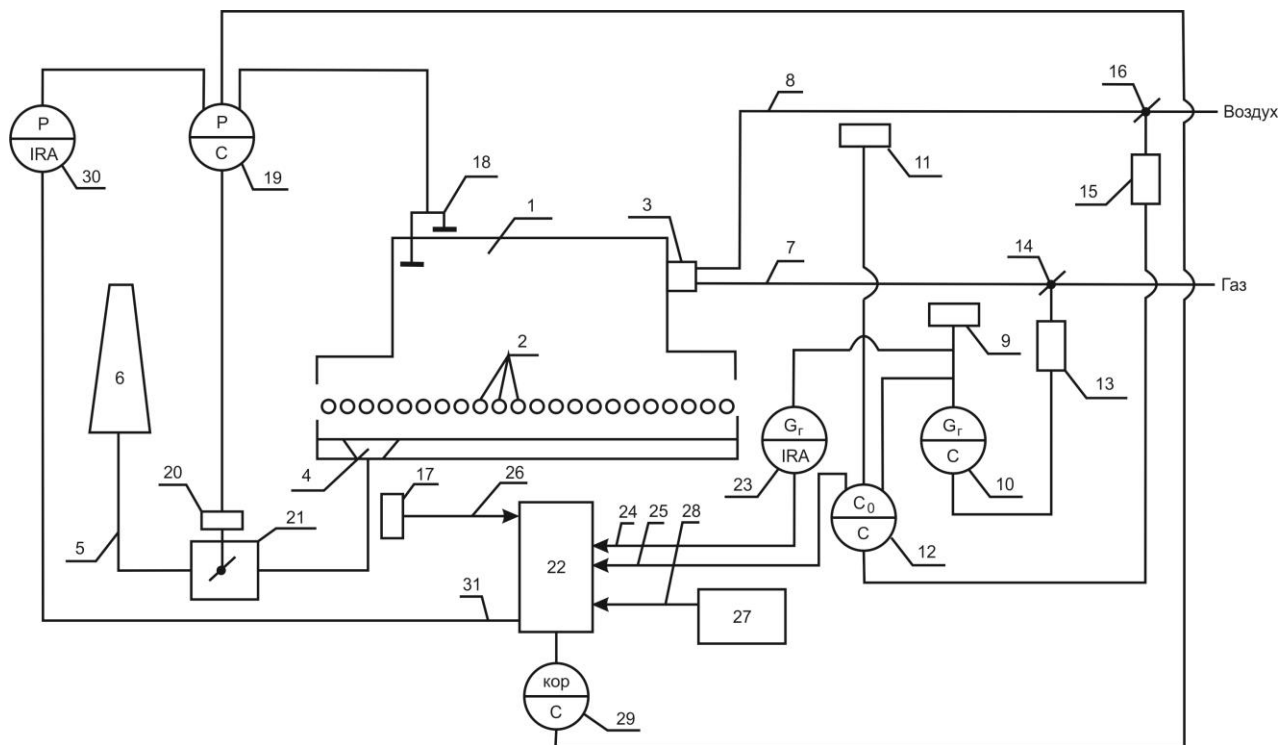


Рисунок 1 – Схема системы, поддерживающей газодинамический режим в печи нагрева труб под закалку

На рисунке 1 обозначены: рабочее пространство 1, нагреваемый металл (трубы) 2, горелочное устройство 3, канал отходящих продуктов сгорания 4, дымоход 5, дымовую трубу 6, подводы топлива 7 и воздуха 8, датчик расхода топлива 9, регулятор расхода топлива 10, датчик расхода воздуха 11, регулятор соотношения «топливо-воздух для горения» 12, исполнительный механизм 13 и регулирующий орган 14 расхода топлива, исполнительный механизм 15 и регулирующий орган 16 расхода воздуха, датчик концентрации кислорода 17, датчик давления под сводом 18, регулятор давления под сводом 19, заслонка в дымовом тракте 20, исполнительный механизм регулирования положения заслонки в дымовом тракте 21, вычислительное устройство 22, расходомер подачи газа 23, ввод данных в вычислительное устройство 22 (о расходе топлива 24, о соотношении «топливо-воздух для горения» 25, о концентрации кислорода в продуктах сгорания 26, ручной ввод данных 28 из банка данных 27), корректирующий регулятор 29, вторичное измерительное устройство давления под сводом 30, ввод данных о давлении под сводом 31 в вычислительное устройство 22. Общепринятые обозначения: С – регулятор; IRA – показывающий, регистрирующий и сигнализирующий вторичный прибор; кор – корректирующий регулятор; G_{T} – расходомер топлива; C_0 – регулятор соотношения «топливо-воздух для горения», P – давление под сводом печи.

В рабочее пространство печи, в котором нагревается металл, через горелочное устройство подается природный газ и воздух для горения, продукты сгорания удаляются через канал отходящих продуктов сгорания и дымоход в дымовую трубу. Определение рас-

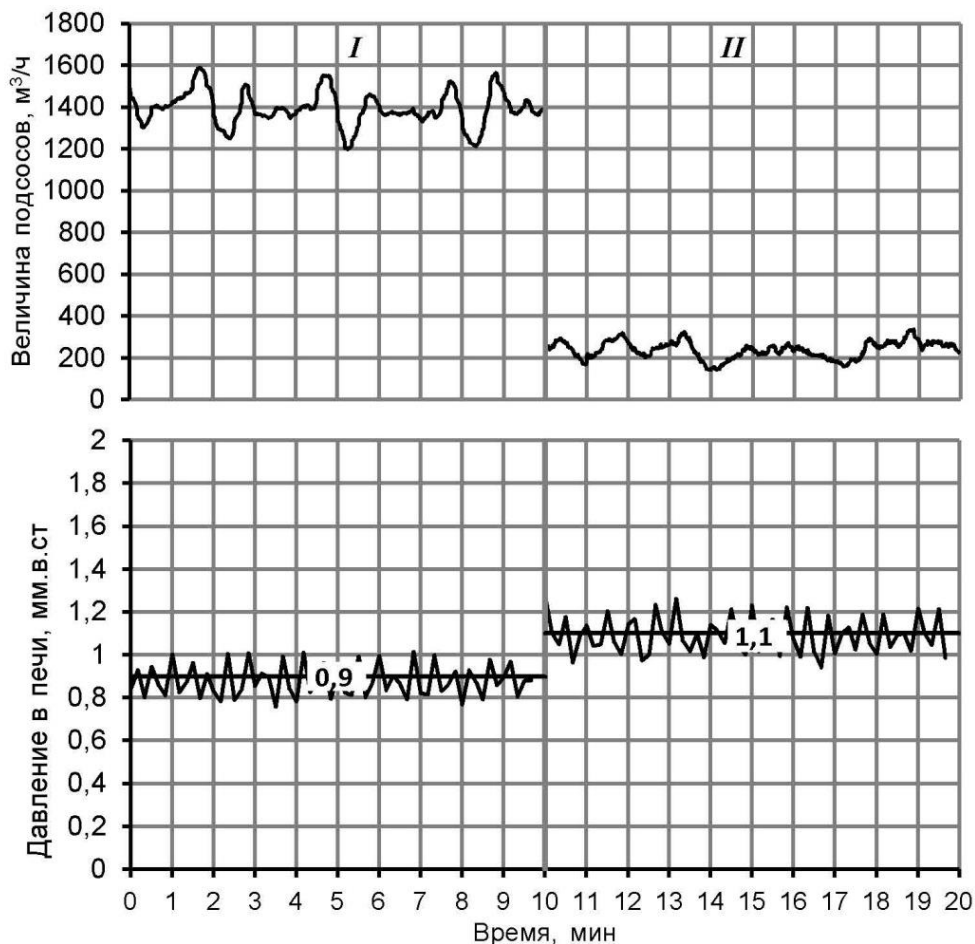
ходов газа и воздуха для горения осуществляется соответствующими датчиками, а регулирование их расходов – исполнительными механизмами и регулирующими органами. Автоматическое регулирование расхода природного газа осуществляется регулятором расхода топлива, а расхода воздуха – регулятором соотношения «топливо-воздух для горения», определение концентрации кислорода в продуктах сгорания осуществляется датчиком концентрации кислорода. Давление под сводом измеряется соответствующим датчиком. Регулирование давления путем изменения положения заслонки в дымовом тракте осуществляется регулятором давления. В вычислительное устройство вводятся данные: о расходе газа, о концентрации кислорода в продуктах сгорания, о соотношении «газ-воздух для горения», и посредством ручного ввода данные о теоретически необходимом расходе воздуха на горение L_0 и теоретическом выходе продуктов сгорания V_0 . В вычислительном устройстве определяется по формуле (3) объем подсосов атмосферного воздуха, и эти данные поступают в корректирующий регулятор, изменяющий задание регулятору давления под сводом так, чтобы величина подсосов $G_{\Pi} = 0$. Измеренное с помощью соответствующего датчика давление под сводом через вторичное измерительное устройство давления под сводом поступает на вход вычислительного устройства, где осуществляется сравнение заданной максимальной величины $P_{СВ.МАКС}$ с физической величиной давления под сводом $P_{СВ}$. В случае превышения давления под сводом заданного значения $P_{СВ.МАКС}$, т.е. при $P_{СВ} \geq P_{СВ.МАКС}$ работа корректирующего регулятора приостанавливается. При этом достигается равенство $P_{СВ} = P_{СВ.МАКС}$, а величина подсосов достигает минимально возможной в реальных условиях эксплуатации величины $G_{\Pi} = G_{\Pi \text{ мин}}$.

Пример работы печи в различных режимах управления давлением представлен на рисунке 2. При управлении давлением без корректировки задания регулятора давление под сводом нагревательной печи с отоплением природным газом составило $P_{СВ} = 0,9$ мм.вод.ст. При этом концентрация кислорода в продуктах сгорания фиксировалась на уровне 4,4 %, а расход природного газа был равен $600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вычисление величины подсосов атмосферного воздуха по формуле (3) дает результат $G_{\Pi} = 1385 \text{ м}^3/\text{ч}$. После включения корректирования задания регулятору давления величина $P_{СВ}$ была стабилизирована на значении 1,1 мм.вод.ст. При этом объем подсосов холодного воздуха в печь был снижен до $200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для оценки эффективности предлагаемых мер был рассчитан тепловой баланс системы и определен выход продуктов в окалину до и после проведения модернизации. Для анализа были выбраны режимы нагрева труб сортамента 219x8 с производительностью печи 28 т/ч. Результат вычисления показал, что с переходом к режиму управления по содержанию кислорода объем подсосов воздуха в рабочее пространство печи уменьшается в 1,7 раза: с $2344 \text{ нм}^3/\text{ч}$ до $1415 \text{ нм}^3/\text{ч}$. С точки зрения теплового баланса уменьшаются потери тепла за счет того, что требуется нагревать меньше подсасываемого в печь холодного воздуха: с 681 кВт до 313 кВт. Также, можно отметить уменьшение общего соотношения объемов газ-воздух («альфа») с 1,47 до 1,31, что также является следствием уменьшения поступающего в печь воздуха. Наиболее важным практическим следствием мероприятий можно считать уменьшение потребляемого печами расхода газа на 9 % для рассматриваемых условий (с 770 до 698 $\text{нм}^3/\text{ч}$). Расчет массы образующейся на трубах окалины показал, что после применения предложенного способа регулирования режима газоплотности рабочего пространства печи масса образующейся окалины уменьшилась на 12 % (с 0,84 кг/тр. до 0,75 кг/тр.). Уменьшение слоя окалины позволяет уменьшить потери металла с ней, а также способствует более эффективному нагреву труб в печи за счет увеличения поступающего к металлу теплового потока.

Таким образом, для стабилизации газодинамического режима в печи предложена схема управления давлением, реализующая, в дополнение к классической, еще поддержание объема подсосов в печь на минимальном уровне. Величина подсосов вычисляется по содержанию кислорода в отходящих дымовых газах. В этом случае контур регулирования давления строится с использованием установленного в дымоходном тракте газоанализатора кислорода и поворотного механизма дымового шиберы. Проведена оценка эффективности предложенно-

го способа как с использованием экспериментальных данных, так и путем теоретического расчета теплового баланса печи и массы образующейся в процессе нагрева окалины. Проведенные испытания и внедрение данной схемы в производство позволили сократить количество подсосов холодного воздуха в печь до 7 раз, а также на 12 % уменьшить массу образующейся окалины. По результатам исследования оформлен патент на изобретение [3].



I – регулирование без корректировки задания регулятора; II – регулирование с корректировкой задания по содержанию кислорода в отходящих продуктах сгорания

Рисунок 2 – Пример регулирования газодинамического режима в печи разными способами

Библиографический список

1. Блинов, О.М. Основы металлургической теплотехники / О.М. Блинов, Ю.Д. Глебов, И.А. Прибытков. – М.: Металлургия, 1973. – С.280.
2. Парсункин, Б.Н. Оптимизация управления тепловым режимом нагревательных печей / Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов, А.Р. Бондарева // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – №21. – С.283-289.
3. Пат. 2496070 С1 Рос. Федерация, Способ регулирования газоплотности рабочего пространства энерготехнологических агрегатов / Лисиенко В.Г., Маликов Ю.К., Титаев А.А.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Приоритет от 20.10.2013.

НАСТРОЙКА СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ АГРЕГАТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОДОБИЯ¹

Макаров Г.В., Линков А.А., Демченко Д.Г., Зайцев А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Создание систем управления сложными технологическими объектами, такими как агрегаты углеобогажительных фабрик, связано с задачами выбора и настройки систем автоматического регулирования (САР) типовых агрегатов (аналогичных агрегатов в разных стадиях производственного процесса и на различных предприятиях). Объем и сложность работ при этом на всех этапах увеличивается, используются все новые средства, как программные, так и технические, а при проектировании и строительстве промышленных объектов предъявляются все более жесткие требования к срокам и технологической последовательности проектных, строительно-монтажных и пуско-наладочных работ. Таким образом, решение задач выбора и настройки САР требуется проводить в сжатые сроки и с как можно меньшим числом итераций и экспериментов на функционирующем объекте.

Традиционная схема выбора и настройки САР всего агрегата или его локального контура представлена следующей последовательностью действий [1].

1. Построение модели агрегата – объекта управления.
2. Синтез закона регулирования и настройка по инженерной методике.
3. Модельные и натурно-модельные исследования и настройка полученной системы.
4. Проверка выбранного закона регулирования, его параметров и их уточнение на натурном объекте.

Повысить эффективность этих работ позволяет наличие полигона для испытаний и наладки АСУ и их компонентов с комбинированными моделями, представленными натурными элементами, физическими моделями, а также натурно-математическими и физико-математическими блоками с многовариантной структурой [2]. Такая реализация комплекса позволяет исследовать различные по природе и свойствам как натурные объекты, так и системы управления.

Также используют функционирующие полупромышленные объекты, на которых отрабатываются новые технологии, алгоритмы и проходит апробация устройств управления [3]. Разумеется, это связано с необходимостью переноса результатов проведенных исследований на реальные объекты и системы.

Перенос результатов исследований САР с модельных установок, полигона и полупромышленных объектов связан с теорией подобия применительно к системам управления и регулирования. В работе [4] описаны положения и условия применения теории подобия к системам управления. В [5] разработана укрупненная схема испытаний и настройки натурной системы, в частности, системы автоматического регулирования (САР) с управляемым обеспечением условий подобия, при параллельном функционировании натурной и модельной систем. Для непосредственного же переноса результатов исследования с САР физической модели (полупромышленной установки) на натурную, укрупненную схему можно записать следующим образом.

1. Оценивание степени подобия модельной и натурной систем управления. В основу расчета степени подобия, с помощью которого количественно оценивают близость этих систем друг к другу с точки зрения их подобия, положено следующее утверждение.

Под степенью подобия систем управления будем понимать количественную меру близости характеристик критериев эффективности управления этими системами [4].

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 15-07-01972

В частности, такой количественной мерой может служить коэффициент корреляции между целевыми показателями, отражающими эффективность функционирования этих систем. Аналогичный показатель лежит в основе метода коррелированных процессов, изложенного в [6], где предлагается осуществлять «установление степени соответствия исходной и упрощенной систем ... по корреляционным моментам статистических значений вероятностных характеристик» этих систем.

2. Управление подобием модельной и натурной систем. Осуществляется при существенном отличии их свойств и условий функционирования за счет целенаправленного воздействия на динамические свойства каналов преобразования физической модели объекта управления и (или) действующих на нее внешних возмущений. Такого типа управление осуществляется до тех пор, пока системы не будут удовлетворять условиям подобия.

3. Выбор и настройка системы регулирования физической модели. Для комбинированной модели объекта управления реализуется система автоматического регулирования в виде многовариантной структуры приобъектно-пересчетного типа. Тогда для различных вариантов физико-математических моделей параллельно оценивается качество функционирования САР и оптимальность их настройки по минимуму целевых критериев.

4. Пересчет результатов настройки на натурную САР.

5. Оценка эффективности результатов.

Другим способом применения теории подобия является перенос результатов выбора и настройки САР уже введенного в эксплуатацию типового агрегата на новый. При этом схема действий мало видоизменяется, и вместо физико-математических моделей используются натурно-математические.

Рассмотрим применение изложенной выше схемы на примере. Локальные контуры регулирования на промышленных объектах часто представлены в виде САР по отклонению. При этом возмущения оцениваются косвенно и приводятся к выходу системы [7]. Структура такой типовой САР описана более подробно в [5].

Рассмотрим на примере контура регулирования плотности суспензии одного из тяжелосредних сепараторов на ОФ «Матюшинская». Математическая модель канала преобразования регулирующих воздействий представлена в операторной форме в виде

$$\varphi(s) = \frac{k}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s}, \quad (1)$$

где k – коэффициент передачи;

T – постоянная времени инерции;

τ – время чистого запаздывания.

По полученным данным были оценены приведенные к выходу объекта возмущения, пример реализации которых представлена в качестве примера на рисунке 1:

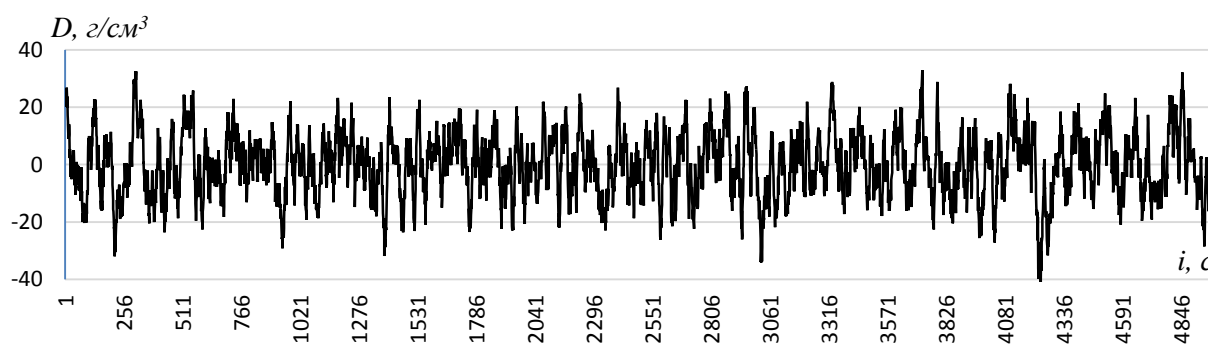


Рисунок 1 – Приведенные к выходу возмущения

Нормированная автокорреляционная функция (АКФ) представленного выше сигнала

изображена на рисунке 2.

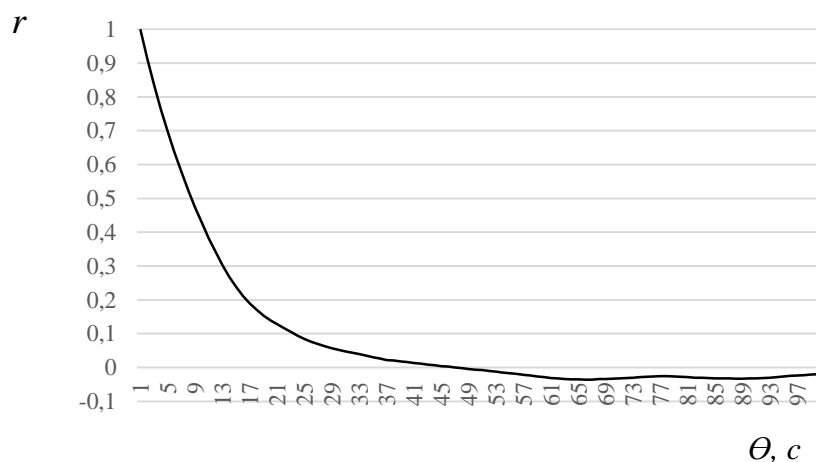


Рисунок 2 – Нормированная АКФ приведенного к выходу возмущения

Представленная АКФ аппроксимируется выражением:

$$r_{np}(\theta) = \sigma_{np}^2 \cdot e^{-\alpha_{np} \cdot |\theta|}, \quad (2)$$

где σ_{np}^2 – дисперсия приведенного возмущения;

α – коэффициент спада АКФ;

θ – время сдвига между сечениями ряда приведенного возмущения.

$$\sigma_{np} = 11,05 \left(\frac{2}{\text{см}^3} \right), \quad \alpha_{np} = 0,11.$$

Для объекта регулирования (1) по методике, изложенной в [7], рекомендуется ПИ-закон регулирования с передаточной функцией

$$f_{\text{ПИ}}(s) = k_{\text{П}} + \frac{k_{\text{И}}}{s}; \quad (3)$$

где $k_{\text{П}}$ и $k_{\text{И}}$ – коэффициенты при пропорциональной и интегральной части регулятора.

В этом случае условия подобия для двух систем, одна из которых является оригиналом, а вторая – ее моделью, записаны в [5].

Настройка локального контура регулирования производилась с применением физическо-математической модели согласно изложенной выше схеме.

1. Оценив степень подобия, получили значение нормированного коэффициента корреляции 0,73. Желательно увеличение степени подобия.

2. Управление подобием осуществляли, добиваясь выполнения условий подобия из [5]. Для физическо-математической модели за счет введения пересчетных блоков изменяли свойства внешних воздействий и динамические характеристики каналов преобразования регулирующих воздействий. Свойства внешних воздействий изменяли с помощью генератора в виде замкнутой динамической системы, описанного в работе [8].

Для внешних воздействий изменяли среднеквадратическое отклонение σ_{np} и коэффициент спада экспоненты АКФ α_{np} , для канала преобразования регулирующих воздействий изменяли параметры T , k , τ .

3. Для физическо-математической модели САР выбрали ПИ-закон регулирования в соответствии с моделью каналов преобразования, описанной выражением (1), и настроили его с применением поисковых процедур покоординатного спуска по минимуму критерия каче-

ства регулирования, представленного в виде среднеквадратического отклонения.

4. По выражениям из [5] перенесли результаты настройки закона регулирования на натурную САР.

По результатам настройки САР можно сделать следующие выводы. Перенос результатов исследования с физической модели на натурную САР позволил в 2 – 3 раза сократить время настройки при пуско-наладочных работах с минимальным вмешательством в работу объекта.

Библиографический список

1. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.
2. Мышляев Л.П. Построение и применение натурно-модельных комплексов / Л.П. Мышляев, А.Е. Щелоков, В.Ф. Евтушенко. – М.: Электрика, 2000. – 52 с.
3. Мочалов С.П. Автоматизированный экспериментально-лабораторный энерготехнологический комплекс / Мочалов С.П., Ивушкин А.А., Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Мурко В.И., Куценко А.И., Федяев В.И., Карпенко В.И. // Уголь. 2012. № 10 (1039). С. 49 – 53.
4. Мышляев Л.П. Понятия и условия подобия систем управления / Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г., Макаров Г.В., Ивушкин К.А. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 56 – 58.
5. Мышляев Л.П. Применение физических моделей в задачах испытания и настройки систем управления (на примере установки сжигания водоугольного топлива) / Мышляев Л.П., Ивушкин А.А., Евтушенко В.Ф., Бурков В.Н., Макаров Г.В., Буркова Е.В. // Научно-емкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2015. № 2. С. 211-218.
6. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. / В.Н. Пугачев. М.: Сов. Радио, 1973. – 256 с.
7. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В.Я. Ротач. М.: Энергия, 1973. – 439 с.
8. Мышляев Л.П. Генератор модельных воздействий с заданными свойствами как замкнутая динамическая система/ Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, г. Кемерово, 16-17 октября 2014 г.; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. с.402 – 403.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕМБРАННЫМИ ПРОЦЕССАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛК ОВЕН

Хачатрян Л.Р., Стефанкин А.Е.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Для концентрирования или очистки жидких сред широко используются мембранные процессы, осуществляемые под действием перепада давления, или баромембранные процессы. Суть баромембранных методов заключается в переходе растворителя сквозь полупроницаемую перегородку – мембрану и в отделении его от растворенного вещества. Таким образом, формируется два независимых продукта: в одном преобладает растворитель (фильтрат, пермеат), в другом – растворенное вещество (ретентат, концентрат).

Различают непрерывные и периодические мембранные процессы. В каждом случае протекание процесса обусловлено сочетанием следующих технологических параметров: давление и гидродинамические условия в канале аппарата, температура разделяемой среды

[1]. Повышение давления, с одной стороны, интенсифицирует процесс отвода фильтрата, увеличивая концентрацию среды на выходе из аппарата, с другой стороны, способствует уплотнению осадка растворенных веществ на поверхности мембраны, который является дополнительным препятствием на пути отвода фильтрата. Гидродинамические условия определяют режим течения среды в канале аппарата. Рекомендуется поддерживать турбулентный режим, характеризующийся многочисленными вращательными и вихревыми движениями жидкости ($Re > 2320$). При этом происходит отрыв слоя осадка растворенных веществ, препятствующего отводу фильтрата. Температурный режим определяет характеристики среды – плотность, вязкость и др. В частности, с повышением температуры снижается вязкость среды и, как следствие, степень образования осадка на мембране. Однако чрезмерное повышение температуры сказывается негативно на полезных свойствах термически неустойчивых компонентов перерабатываемых жидких сред. При управлении мембранными процессами необходимо обеспечить устойчивое равновесие указанных технологических параметров.

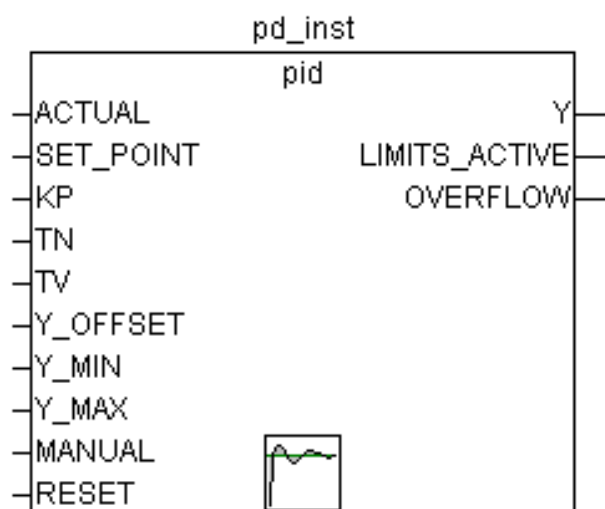
В непрерывном мембранном процессе регулируемым параметром является концентрация среды на выходе из аппарата, стабильность которой необходимо обеспечить с целью соблюдения рецептуры вырабатываемого продукта. Также в соответствии с рецептурой поддерживают определенный расход среды. В качестве управляющего воздействия в первом случае целесообразно выбрать давление в канале аппарата, создаваемое насосом на входе в аппарат, во втором случае – положение клапана на выходе аппарата. Однако выбранные управляющие воздействия в совокупности оказывают влияние и на давление в канале аппарата, и на расход среды на его выходе. Таким образом, для управления непрерывным мембранным процессом необходима система связного регулирования. К возмущающим воздействиям следует отнести перепады давления и температуры среды. Первые исключаются автоматическими регуляторами системы регулирования, последние – одноконтурной системой регулирования температуры перед поступлением среды в аппарат.

В периодическом мембранном процессе регулируемым параметром является концентрация среды в технологическом резервуаре, которую необходимо обеспечить за минимальное время. Интенсивность процесса в данном случае напрямую зависит от скорости формирования фильтрата, которая обусловлена давлением в канале аппарата и сопротивлением слоя осадка на мембране. Таким образом, в качестве управляющего воздействия целесообразно выбрать давление в канале аппарата, создаваемое насосом на входе в аппарат и регулируемое клапаном на его выходе. Управление периодическим мембранным процессом обеспечивает одноконтурная система регулирования. Следует отметить, что давление необходимо поддерживать в определенном диапазоне, поскольку чрезмерное его повышение вызывает уплотнение слоя осадка, и, как следствие, снижение производительности по фильтрату. Кроме того, периодический мембранный процесс может быть интенсифицирован путем создания турбулентного режима течения среды в канале аппарата со значениями критерия Re , значительно превышающими значения данного критерия для непрерывного мембранного процесса, поскольку нет необходимости ограничивать расход среды на выходе из аппарата. Аналогично к возмущающим воздействиям следует отнести перепады давления и температуры среды. Первые исключаются автоматическим регулятором системы регулирования, последние – одноконтурной системой регулирования температуры перед поступлением среды в аппарат.

Реализация систем автоматического регулирования параметров мембранного процесса возможна современными программными средствами существующих программируемых логических контроллеров [2]. Наиболее предпочтительны контроллеры ПЛК ОВЕН, программируемые в среде CoDeSys.

CoDeSys предоставляет собой удобную среду для программирования контроллеров на языках стандарта МЭК 61131-3. Используемые редакторы и отладочные средства базируются на широко известных принципах, знакомых по популярным средам профессионального программирования (Visual C++).

Для реализации системы автоматического регулирования в среде CoDeSys используется функциональный блок (рисунок 1).



ACTUAL – текущее значение контролируемой переменной; SET_POINT – задание;
KP – коэффициент передачи; TN – постоянная интегрирования; TV – постоянная дифференцирования; Y_OFFSET – стационарное значение Y;
Y_MIN, Y_MAX – ограничение значения выхода Y; MANUAL – значение «истина» включает режим ручного регулирования; RESET – сбрасывает регулятор;
Y – выход регулятора; LIMITS_ACTIVE – значение «истина» означает, что Y ограничивается пределами (Y_MIN, Y_MAX); OVERFLOW – признак переполнения

Рисунок 1 – Функциональный блок ПИД-закона регулирования

Функциональный блок ПИД-закона регулирования позволяет реализовать описанные системы автоматического регулирования мембранными процессами.

Библиографический список

1. Шушпанников А.С. Разработка математической модели процесса мембранного концентрирования на основе методов информационного моделирования / А.С. Шушпанников, Б.А. Лобасенко, Р.В. Котляров // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2013. – № 4 (<http://www.science-education.ru/>).
2. Анашкин, А.С. Техническое и программное обеспечение распределённых систем управления / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В.Г. Харазов. – СПб.: П-2, 2004. – 368 с.

УПРАВЛЕНИЕ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ СТАЛИ

Чернявский С.В.

*НФИ КемГУ,
г. Новокузнецк*

Аннотация: Рассмотрены основы построения обобщенной системы управления конвертерной плавкой. Приводятся основные положения алгоритмов управления конвертерной плавки, анализа и обработки информации, которые позволяют оптимизировать процесс управления технологией и снизить затраты на производство стали.

Ключевые слова: система управления, алгоритмы управления, оптимизация производства, человеко-машинное взаимодействие, конвертерная плавка.

В настоящее время, все цеха для выплавки стали в конвертерах оснащены средствами автоматизации, которые позволяют контролировать технологический процесс и управлять им в ручном или автоматизированном режиме. Как правило, наибольшее развитие получает АСУТП с использованием оборудования КИПиА, управляющих контроллеров и элементов SCADA систем. При этом доля ручного управления остается достаточно большой. Причина состоит не столько в низком уровне оснащения производства средствами вычислительной техники, базовой автоматизации, сколько, в отсутствии единых целей у технологического персонала цеха и IT структур, предлагаемые АРМы и автоматизированные системы не только не уменьшают нагрузку на человека, но и увеличивают её. Зачастую, системы управления ограничиваются сбором, архивированием, визуализацией технологических параметров и передачей данных в ERP уровень. Все остальные задачи по управлению должен выполнять технологический персонал.

С изменением экономической ситуации, с повышением уровня конкуренции на рынке производства стали задача снижения затрат является первостепенной. Колебания цен материалов, уменьшение предложения качественных шихтовых материалов и флюсов приводит к тому, что существующая система управления конвертерного цеха, основанная на «ручном» управлении не дает желаемого результат. Использование алгоритмов автоматического управления, автоматического контроля технологических параметров, автоматизация технологического процесса совместно с оптимизацией технологии выплавки стали должны обеспечить решение поставленных задач. Внедрение алгоритмов автоматического управления выплавки стали в ККЦ позволяет обеспечить:

- выплавку стали с заданными характеристиками (химический состав, температура) с минимальными затратами;
- сквозную оптимизацию в конвертерном цехе начиная от подготовки материалов (лом, чугун, флюсы) до получения готовой продукции при разливке на МНЛЗ или в слитки;
- повысить стойкость конвертеров до оптимальной и снизить затраты по уходу футеровкой конвертеров;
- повысить производительность цеха.

При этом автоматизированная система управления становится «инструментом» для работы технологического персонала цеха. Оптимальная организация человеко-машинного взаимодействия позволяет повысить эффективность от использования этого «инструмента».

Несмотря на большое разнообразие реализаций АСУ в различных цехах существует возможность создания и внедрения обобщенной (типовой) автоматизированной системы управления выплавки стали в конвертерном цехе не зависимо от конкретной конфигурации технического и программного обеспечения.

Предлагаемая обобщенная техническая структура приведена на рисунке 1.

Система (АСУП и АСУТП) сбора, обработки информации и управления. Реализует функции управления данными и интерфейс для внешних подсистем: весы, измерительные датчики и т.п. и многозадачность. Многозадачность системы обеспечивает одновременную работу определенного числа клиентов (технологического персонала и специалистов АСУ) и доступ приложений к ресурсам системы.

Аппаратно и программно состоит из двух дублирующих взаимосвязанных уровней (АСУП и АСУТП) с подключением к существующим АСУ цеха, технологической и корпоративной сети цеха. АСУТП уровень реализован на базе программируемых контроллеров. АСУП уровень на базе компьютера типа «сервер». Для управления данными применяются стандартные программные и технические решения и специальные алгоритмы для контроля, анализа и восстановления недостоверных и недостающих данных.

Математические модели и управляющие алгоритмы. Реализует функции расчета требуемых управлений для следующих технологических параметров:

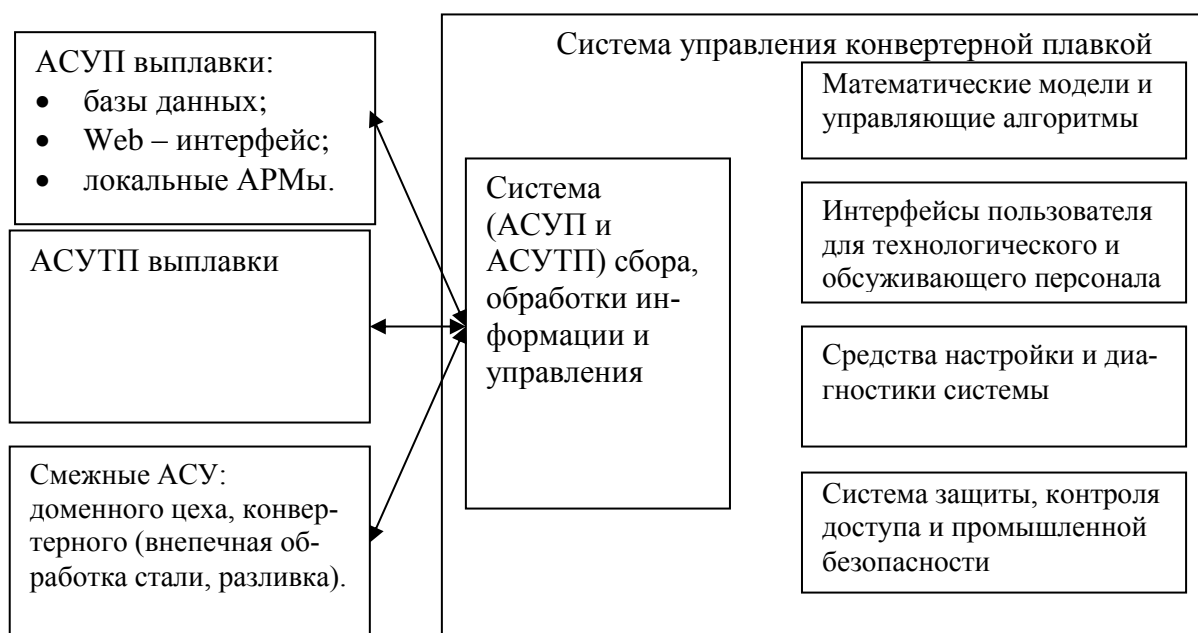


Рисунок 1 – Обобщенная техническая структура

- Шихтовка плавки (расчет веса лома и чугуна). Возможные варианты расчета:
 - переменный вес лома и чугуна;
 - фиксированный вес лома и переменный вес чугуна;
 - фиксированный вес чугуна и переменный вес лома;
 - фиксированный вес лома и чугуна;
- Флюсы, топливо, охладители.
- Расход кислорода на главную продувку.
- Дутьевые и флюсовые режимы.
- Нагрев лома (параметры нагрева лома в конвертере).
- Уход за футеровкой конвертера.
- Корректирующие операции.
- Добавки в ковш (раскисление и легирование).

При функционировании АСУ расчет рекомендаций на плавку инициируется пользователем системы (мастером, дистрибуторщиком и т.д.). Исходная информация для расчета формируется на основе текущего состояния объекта управления, плана производства и результатов, предыдущих плавки с учетом различий в технологии выплавки металла. Весь период плавки от завалки лома до завалки лома разделен на следующие периоды:

- завалка лома;
- заливка чугуна;
- подогрев лома;
- главная продувка;
- корректирующие операции, вторая стадия продувки;
- скачивание шлака;
- слив металла;
- уход за футеровкой (подварка, раздувка шлака азотом).

Интерфейсы пользователя для технологического и обслуживающего персонала. Реализует функции человеко-машинного взаимодействия. Представляет собой набор экранов для пользователей системы: дистрибуторщика, технолога, администратора и т.п. Реализация предусматривает совместимость с принятым стандартом представления информации на комбинате (станции визуализации, Web-интерфейс).

Средства настройки и диагностики системы. Реализует функции настройки и диагностики системы, адаптации под изменения в технологии выплавки стали.

Система защиты, контроля доступа и промышленной безопасности. Реализует функции контроля доступа и разделение функции системы для каждого пользователя на аппаратном и программном уровне. В функции подсистемы входит: протоколирование действий пользователей, контроль изменения данных, сохранение оперативных данных с заданной глубиной истории, формирование архивов.

Математические модели и управляющие алгоритмы можно представить следующими взаимосвязанными блоками.

Управляющее устройство – это устройство, осуществляющее воздействие на объект управления с целью обеспечения требуемого режима работы. Управляющее устройство состоит из управляющего уровня на базе программируемого контроллера и технологического персонала цеха взаимодействующего с АСУ через средства человеко-машинного взаимодействия (станции визуализации, экраны информационной системы).

Объект управления (конвертерная плавка). Основная задача АСУ конвертерной плавкой является выплавка стали с заданным химическим составом и температурой, с минимальными затратами. Повышение эффективности управления конвертерной плавкой за счет АСУ позволяет оптимизировать затраты и на смежных участках: подготовка лома, внедоменная десульфурация чугуна, доменное производство, внепечная обработка и разливка стали. В качестве примеров можно привести:

- Подбор соотношений лома в совке в зависимости от сортамента.
- Управление доменной плавкой в зависимости от сортамента и оптимизация содержания серы в чугуне при внедоменной десульфурации.
- Совместная оптимизация технологии выплавки, раскисления и легирования под конвертером, и внепечной обработки стали для уменьшения брака разливки и сокращения отходов.

«Базовые» алгоритмы управления представляют алгоритмы управления конвертерной плавкой с использованием математической модели, базирующейся уравнениях материального и теплового балансов конвертерной плавки.

В алгоритмах управления заключительным периодом конвертерной плавки используется дополнительная информация о газовом анализе отходящих конвертерных газов. Совместное применение «базовых» алгоритмов управления и алгоритмов управления заключительным периодом плавки позволило:

- повысить точность попадания по углероду и температуре на повалке после главной продувки;
- сократить количество исправлений на плавке.

Динамические алгоритмы управления, которые работают совместно с «базовыми» алгоритмами и алгоритмами для заключительного периода.

Применение статических моделей основано на воспроизводимости динамики плавки. Но в связи с тем, что характеристики (качество, размер, влажность и прочее) шихтовых материалов и флюсов изменяется со временем - влияет на динамику плавки, то для сохранения подобия:

- корректируется дутьевой и флюсовый режим по ходу главной продувки;
- восстанавливаются «идеальные» управления на прошедшую плавку и используются для корректировки на текущую плавку.

Блок настройки выполняет расчет ошибки управления, коррекцию коэффициентов модели, изменение структуры алгоритма расчета в зависимости от входных и выходных данных ОУ. Для настройки используются многомерные поисковые процедуры, специальные методики применительно для каждого звена системы с учетом запаздывания и зашумленности сигналов.

Эффективное внедрение системы возможно с декомпозицией работ, что позволяет:

- максимально сократить время внедрения и максимально быстро получить результат;
- поэтапно модернизировать действующую систему управления, то есть не требует-

ся значительных материальных затрат на этапе внедрения (приоритеты в решении вопросов: алгоритмический, организационный, технический);

– настраивать обмен данными со всеми источниками данных (без обязательной переработки существующих АРМов);

– настраивать систему управления с учетом технологии выплавки, ее особенностей для конкретной марки, сортамента.

Выводы.

В современных условиях применение средств автоматизации в тесной взаимосвязи с технологией выплавки, специальными алгоритмами обработки и подготовки данных позволяет решить вопросы оптимизации производства и снижению затрат. С одной стороны снижение роли человека в процессе принятия решений уменьшает значение опыта и профессиональных знаний, но с другой стороны возможности системы позволяют получать новые знания и повышают профессиональный уровень. Таким образом, предлагаемой системе управления человек и система управления находятся в постоянном соревновании для достижения требуемого результата на основе согласованных критериев и цели технологического персонала и IT служб совпадают.

Библиографический список

1. Способы расчета масс материалов конвертерного процесса / Авдеев В.П., Айзатулов Р.С., Мышляев Л.П., Петрунин М.В., Сарапулов Ю.А. – М.: Металлургия, 1994, 192 с.
2. Райбман Н.С. Построение моделей процессов производства / Н.С. Райбман, В. М. Чадеев. - М.: Энергия, 1975.- 376 с.
3. Богусhevский В.С. Математическое описание и алгоритм управления кислородно-конвертерным процессом / В.С. Богусhevский, Е.И. Беляев, Н.А. Сорокин, С.К. Соболев, В.А. Ясинский // Металлургия и коксохимия, 1979.- №63. - С.66-69.
4. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х т. Т.2.: Системы автоматизации производственного назначения./ Под ред. Л.П. Мышляева. – Наука, 2006. – 483 с.
5. Бабтизманский В. И. Теория кислородно-конвертерного процесса. - М.: Металлургия, 1975. 376 с.
6. Комбинированное управление конвертерной плавкой / Волович М.И., Авдеев В.П., Парпаров Я.Г., Кошелев А.Е., Щеглов В.А. – Кемерово: Кемер. кн. изд-во, 1990. – 142 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ СЕРВИСОВ ИТ-ПРОВАЙДЕРА

Зимин В.В., Кулаков С.М., Дроздецкий К.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Введение. Управление портфелем ИТ-сервисов является эффективным и недооцененным на сегодня способом обеспечения конкурентоспособности поставщика ИТ-услуг. К числу важных задач управления деятельностью ИТ-провайдера относится задача формирования оптимального портфеля сервисов ИТ-услуг [1 – 2].

Будем описывать произвольный сервис s_{ji} , заявленный для разработки, кортежем (b_{ji}, k_{ji}, r_{ji}) , где b_{ji} - затраты на разработку, k_{ji} – эффективность сервиса, r_{ji} – признак, описывающий категорию сервиса. Причем

$$r_{ji} = \begin{cases} 0, & \text{если } R_s \geq R_n \\ 1, & \text{если } R_s < R_n, \end{cases} \quad (1)$$

где R_i – нормативное значение рентабельности;

j – индекс бизнес-процесса, для которого разрабатывается сервис;

i – индекс подлежащего проектированию ИТ-сервиса. ИТ-провайдер стремится ограничить затраты на недостаточно эффективные сервисы.

Обозначим через $(0, T)$ очередной плановый период. Пусть $S^P(0, T) = \{s_{ji} | j \in J, i \in I_j\}$ – множество сервисов $s_{ji} = (b_{ji}, t_{ji}, k_{ji}, r_{ji})$, планируемых к разработке в плановом периоде $(0, T)$. Обозначим через $V(S^P)$ объем ресурсов, требуемый поставщику услуг для разработки планируемого множества сервисов. Тогда $V(S^P) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} b_{ji}$. Эффективность k_{ji} сервиса

s_{ji} зависит от значений показателей, описывающих его базовые характеристики: полезность k_{ji}^1 , доступность k_{ji}^2 , мощность k_{ji}^3 , непрерывность k_{ji}^4 , безопасность k_{ji}^5 . Для оценки эффективности сервиса применим известный в теории управления организационными системами механизм комплексного оценивания [3]. Положим $k_{ji} = \sum_{l=1}^5 \omega_l k_{ji}^l$, где $k_{ji}^l, l = \overline{1, 5}$,

выражены в единой бальной шкале ранга \mathfrak{R} и $\omega_l, l = \overline{1, 5}$, – весовые коэффициенты отдельных показателей, $\sum_{l=1}^5 \omega_l = 1$. Суммарная эффективность $K(S^P)$ планируемого к разработке

множества сервисов будет $K(S^P) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} k_{ji}$.

Пусть $I_j = I_j^1 \cup I_j^0$, где I_j^1 – индексы сервисов, для которых $R_s < R_i$, а I_j^0 – индексы, для которых $R_s < R_i$. Тогда затраты V_1 на разработку «неэффективных» сервисов в плановом периоде составят $V_1 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j^1} b_{ji}$. Для ЛПР, в сфере ответственности которого находится

рассматриваемая задача планирования, возможны два подхода к ее постановке. Если конкретные условия побуждают ЛПР выбрать в качестве критерия задачи эффективность K множества планируемых к реализации сервисов, то результатом такого выбора является прямая задача управления, состоящая в максимизации эффекта при ограничении на затраты (эффективность по цели) [4, 5]. Если же в качестве критерия задачи ЛПР выбирает затраты V на множество планируемых к реализации сервисов – обратная задача управления (эффективность по затратам).

Формирование оптимального по затратам множества сервисов для реализации в очередном плановом периоде

Предположим, что ЛПР решил, что сложившимся условиям больше соответствует постановка задачи в форме обратной задачи управления.

Постановка задачи. Введем целочисленную переменную x_{ji} :

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если сервис } s_{ji} \text{ включается в план разработок,} \\ 0, & \text{если сервис } s_{ji} \text{ не включается в план разработок.} \end{cases} \quad (2)$$

С учетом введенных обозначений задача формирования множества сервисов, подлежащих разработке в очередном плановом периоде $(0, T)$, описывается следующим образом:

$$V(x) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} b_{ji} x_{ji} \rightarrow \min \quad (3)$$

$$K(x) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j} k_{ji} x_{ji} \geq K^*, \quad B_1(x) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I_j^1} b_{ji} x_{ji} \leq B_1^*. \quad (4)$$

Содержательно задача состоит в нахождении таких $x_{ji}, j \in J, i \in I_j$, которые обеспечивают выполнение неравенств (4) (то есть обеспечивают достижение заданного уровня K^* эффективности формируемого множества сервисов и для которых затраты $B_1(x)$ на «неэффективные» проекты ограничены величиной B_1^*) и минимизируют затраты $B(x)$ на разработку планируемого множества сервисов.

Решение этой задачи выполним посредством совместного применения метода дихотомического программирования и механизма комплексного оценивания. Дихотомию используем при декомпозиции исходной задачи (3) – (4), а комплексный механизм ρ - для качественного оценивания эффективностей $K(x)$ множеств сервисов, формируемых как решения частных задач, полученных в результате декомпозиции. Эффективности k_{ji} и $\rho(K(x))$ измеряются в единой \mathfrak{R} – балльной шкале, то есть $k_{ji} \in \overline{1, \mathfrak{R}}, \rho(K(x)) \in \overline{1, \mathfrak{R}}$.

Декомпозиция и процедура решения задачи (3) – (4). Представим структуру функций $B(x), K(x)$ и $B_1(x)$ в виде дерева, приведенного на рисунке 1. В соответствии со структурой осуществим декомпозицию исходной задачи (3) – (4) на $(3|J|+1)$ последовательно решаемые более простые задачи. Для каждого бизнес-процесса j решаются 3 задачи.

Первая задача. Определение значений переменных множества $x_j^1 = \{x_{ji} \mid i \in I_j^1\}$ (для «неэффективных» сервисов j -го бизнес-процесса), которые обеспечивают эффективности $\rho(K(x_j^1))$ каждое из \mathfrak{R} значений и минимизируют затраты $B(x_j^1)$:

$$B(x_j^1) = \sum_{i \in I_j^1} b_{ji} x_{ji} \rightarrow \min \quad (5)$$

$$\rho(K(x_j^1)) = \rho\left(\sum_{i \in I_j^1} k_{ji} x_{ji}\right) \in \overline{1, \mathfrak{R}}, \text{ где } 0 \leq B(x_j^1) \leq B_1^*. \quad (6)$$

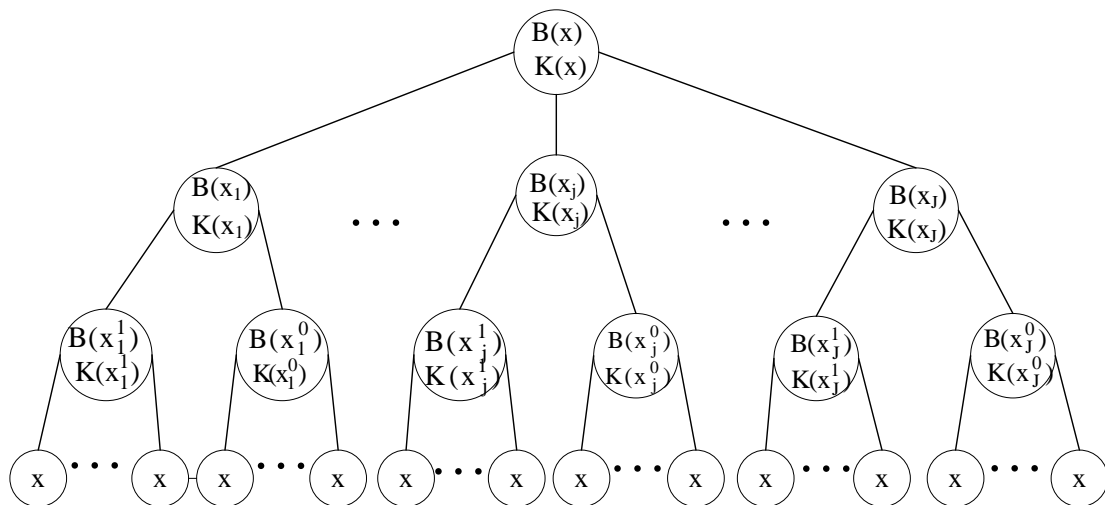


Рисунок 1 – Структура сетевого представления функций $B(x)$ и $K(x)$

В результате решения первой задачи определяется зависимость $V(x_j^1, \rho(K(x_j^1)))$ минимальных затрат на «неэффективные» сервисы от полученного от них эффекта.

Вторая задача. Определение значений переменных множества $x_j^0 = \{x_{ji} \mid i \in I_j^0\}$ (для «эффективных» сервисов j -го бизнес-процесса), которые обеспечивают эффективности $\rho(K(x_j^0))$ каждое из \mathfrak{R} значений и минимизируют затраты $V(x_j^0)$:

$$V(x_j^0) = \sum_{i \in I_j^0} b_{ji} x_{ji} \rightarrow \min \quad (7)$$

$$\rho(K(x_j^0)) = \rho\left(\sum_{i \in I_j^0} k_{ji} x_{ji}\right) \in \overline{1, \mathfrak{R}}. \quad (8)$$

В результате решения второй задачи получаем зависимость $V(x_j^0, \rho(K(x_j^0)))$ минимальных затрат на «эффективные» сервисы от полученного от них эффекта.

Третья задача. Определение значений переменных множества $x_j = \{x_{ji} \mid i \in I_j\}$ (для «эффективных» и «неэффективных» сервисов j -го бизнес-процесса), которые обеспечивают эффективности $\rho(K(x_j)) = \rho(\rho(K(x_j^1)) + \rho(K(x_j^0)))$ каждое из \mathfrak{R} значений, минимизируют затраты $V(x_j) = (V(x_j^1) + V(x_j^0))$ и удовлетворяют ограничению на финансирование «неэффективных» проектов:

$$V(x_j) \rightarrow \min \quad (9)$$

$$\rho(K(x_j)) = \rho(\rho(K(x_j^1)) + \rho(K(x_j^0))) \in \overline{1, \mathfrak{R}}, \text{ где } 0 \leq V(x_j^1) \leq B_1^*. \quad (10)$$

В результате решения третьей задачи получаем зависимость $V(x_j, \rho(K(x_j)), V(x_j^1))$ минимальных затрат $V(x_j)$ на «эффективные» и «неэффективные» сервисы j -го бизнес-процесса от полученного от них эффекта $\rho(K(x_j))$ и от затрат $V(x_j^1)$ на «неэффективные» сервисы.

Результатом решения трех сформулированных задач для всех бизнес-процессов будут $|J|$ зависимостей $V(x_j, \rho(K(x_j)), V(x_j^1))$.

(3/|J|+1)-я задача. Определения значений переменных множества $x = \{x_j \mid j \in J\}$, которые обеспечивают эффективности $\rho(K(x))$ каждое из \mathfrak{R} значений и минимизируют затраты $V(x) = \sum_{j \in J} V(x_j)$, в которых затраты на неэффективные проекты ограничены величиной B_1^* :

$$V(x) = \sum_{j \in J} V(x_j) \rightarrow \min \quad (11)$$

$$\rho(K(x)) = \rho\left(\sum_{j \in J} \rho(K(x_j))\right) \in \overline{1, \mathfrak{R}}, \quad V_1(x_j) = \sum_{j \in J} B_1(x_j) \leq B_1^*. \quad (12)$$

Решение этой задачи состоит в последовательном решении ($|J|-1$)-ой подзадачи оптимизации в соответствии со структурой системы комплексного оценивания, которую фор-

мирует ЛПР с учетом своих предпочтений и текущей ситуации, определяя порядок по парной свертки критериев $V(x_j, \rho(K(x_j)), V(x_j^1))$ для бизнес-процессов, выбирая соответствующие матрицы свертки для эффективностей $\rho(K(x_j))$.

Рассмотрим процедуру свертки критериев для двух произвольных бизнес-процессов j_1 и j_2 . Подзадача оптимизации для этой пары бизнес-процессов формализуется следующим образом:

$$V(x_{j_1 j_2}) = \sum_{j \in \{j_1, j_2\}} V(x_j) \rightarrow \min \quad (13)$$

$$\rho(K(x_{j_1 j_2})) = \rho\left(\sum_{j \in \{j_1, j_2\}} \rho K(x_j)\right) \in \overline{1, \mathfrak{R}}, V_1(x_{j_1 j_2}) = \sum_{j \in \{j_1, j_2\}} V_1(x_j) \leq V_1^*. \quad (14)$$

В соответствии с механизмом комплексного оценивания алгоритм решения подзадачи (13) – (14) состоит в следующем. Для каждого возможного результата свертки $\rho(K(x_{j_1 j_2}))$ определяем множество Ω_ρ пар $(\rho(K(x_{j_1})), \rho(K(x_{j_2})))$ оценок бизнес-процессов j_1 и j_2 , дающих (согласно матрице свертки) значение $\rho(K(x_{j_1 j_2}))$. Для каждой такой пары $(\rho(K(x_{j_1})), \rho(K(x_{j_2})))$ вычисляем

$$\begin{aligned} & V(x_{j_1 j_2}, \rho(K(x_{j_1 j_2})), V_1(x_{j_1 j_2})) = \\ & = \min \{V(x_{j_1}, \rho(K(x_{j_1}))) + V(x_{j_2}, \rho(K(x_{j_2})))\}, V_1(x_{j_1}) + V_1(x_{j_2}) \leq V_1^*. \end{aligned} \quad (15)$$

Выполнив (15) для всех значений $\rho(K(x_{j_1 j_2}))$, $(\rho(K(x_{j_1 j_2})) = \overline{1, \mathfrak{R}})$, получим зависимость минимальных суммарных затрат от соответствующих значений оценок суммарной эффективности бизнес-процессов j_1 и j_2 , учитывающую ограничения на сервисы с рентабельностью ниже нормативной.

Последовательно выполняя посредством изложенного алгоритма и в соответствии с заданным ЛПР деревом свертки все $(|J|-1)$ подзадачи, получим решение задачи (13) – (14).

Пример. Рассмотрим случай, когда на очередной плановый период от персонала трех бизнес-процессов заявлено к разработке 11 сервисов. От первого и второго процесса заявили по четыре сервиса, в числе которых по 2 сервиса «эффективных» и по 2 «неэффективных». От третьего заявили 2 «эффективных» сервиса и 1 «неэффективный».

Исходные данные по сервисам соответствующих бизнес-процессов представлены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Исходные данные сервисов 1-го бизнес-процесса

| s_{1i} | s_{11} | s_{12} | s_{13} | s_{14} |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| k_{1i} | 1 | 2 | 4 | 3 |
| b_{1i} | 4 | 7 | 10 | 5 |
| r_{1i} | 1 | 1 | 0 | 0 |

Таблица 2 – Исходные данные сервисов 2-го бизнес-процесса

| s_{2i} | s_{21} | s_{22} | s_{23} | s_{24} |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| k_{2i} | 1 | 1 | 3 | 3 |
| b_{2i} | 4 | 3 | 6 | 5 |
| r_{2i} | 1 | 1 | 0 | 0 |

Таблица 3 – Исходные данные сервисов 3-го бизнес-процесса

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| s_{3i} | s_{31} | s_{32} | s_{33} |
| k_{3i} | 1 | 4 | 3 |
| b_{3i} | 4 | 9 | 7 |
| r_{3i} | 1 | 0 | 0 |

Положим $V_1^* = 12$, $\mathfrak{R} = 4$, $V^* = 35$.

Последовательно решая по три задачи для каждого бизнес-процесса получаем следующие результаты, таблицы 4 – 6.

Таблица 4 – Оптимальные решения задачи для процесса 1

| | | | | |
|----------------|------|------|------|------|
| x_1 | 1000 | 0100 | 0101 | 1110 |
| $V(x_1)$ | 4 | 7 | 12 | 21 |
| $\rho(K(x_1))$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $V_1(x_1)$ | 4 | 7 | 7 | 11 |

Таблица 5 – Оптимальные решения задачи для процесса 2

| | | | | |
|----------------|------|------|------|------|
| x_2 | 0100 | 1101 | 1101 | 1111 |
| $V(x_2)$ | 3 | 7 | 12 | 18 |
| $\rho(K(x_2))$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $V_1(x_2)$ | 3 | 7 | 7 | 7 |

Таблица 6 – Оптимальные решения задачи для процесса 3

| | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| x_3 | 100 | 001 | 110 | 011 |
| $V(x_3)$ | 4 | 7 | 13 | 16 |
| $\rho(K(x_3))$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $V_1(x_2)$ | 4 | 0 | 4 | 0 |

Пусть ЛПР выбрал дерево свертки критериев для бизнес-процессов и соответствующие ему матрицы свертки для $\rho(K(x))$, представленные на рисунках 2 и 3.

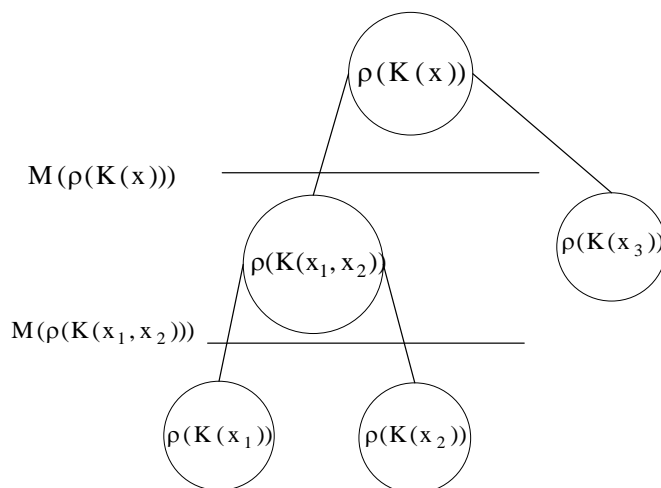


Рисунок 2 – Дерево свертки критериев для бизнес-процессов

| | | | | |
|----------------|------------------------|---|---|---|
| | $M(\rho(K(x_1, x_2)))$ | | | |
| | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | 2 | 3 | 3 | 4 |
| $\rho(K(x_2))$ | 2 | 2 | 3 | 4 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | $\rho(K(x_1))$ | | | |

| | | | | |
|----------------|---------------------|---|---|---|
| | $M(\rho(K(x)))$ | | | |
| | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | 3 | 3 | 3 | 3 |
| $\rho(K(x_3))$ | 2 | 2 | 3 | 3 |
| | 1 | 2 | 2 | 3 |
| | $\rho(K(x_1, x_2))$ | | | |

Рисунок 3 – Матрицы свертки для $\rho(K(x))$

Выполняем свертку критериев для бизнес-процессов 1 и 2 на основе свертки $\rho(K(x_1))$ и $\rho(K(x_2))$ на базе матрицы $M(\rho(K(x_1, x_2)))$ и соотношения (15).

$\Omega_1 = (1,1), \rho(K(1,1)) = 1; B(1,1) = 7, B_1(1,1) = 7. \Omega_2 = \{(1,2), (1,3), (2,1), (2,2)\}.$
 $\min\{ \rho(K(1,2)) = 2, B(1,2) = 11, B_1(1,2) = 11; \rho(K(1,3)) = 2, B(1,3) = 16, B_1(1,3) = 11;$
 $\rho(K(2,1)) = 2, B(2,1) = 10, B_1(2,1) = 10; \rho(K(2,2)) = 2, B(2,2) = 14, B_1(2,2) = 14 \} =$
 $\rho(K(2,1)) = 2, B(2,1) = 10, B_1(2,1) = 10.$
 $\Omega_3 = \{(2,3), (3,1), (3,2), (3,3)\}.$
 $\min\{ \rho(K(2,3)) = 3, B(2,3) = 20, B_1(2,3) = 11; \rho(K(3,1)) = 3, B(3,1) = 15, B_1(3,1) = 10;$
 $\rho(K(3,2)) = 3, B(3,2) = 19, B_1(3,2) = 14; \rho(K(3,3)) = 3, B(3,3) = 24, B_1(3,3) = 14 \} =$
 $\rho(K(3,1)) = 3, B(3,1) = 15, B_1(3,1) = 10$
 $\Omega_4 = (1,4), (2,4), (4,1), (4,2) \dots \}$
 $\min\{ \rho(K(1,4)) = 4, B(1,4) = 22, B_1(1,4) = 11; \rho(K(2,4)) = 4, B(2,4) = 25, B_1(2,4) = 14;$
 $\rho(K(4,1)) = 4, B(4,1) = 24, B_1(4,1) = 14; \rho(K(4,2)) = 4, B(4,2) = 28, B_1(4,2) = 18 \dots \} =$
 $\rho(K(1,4)) = 4, B(1,4) = 22, B_1(1,4) = 11.$

Результат первой свертки представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Результат свертки критериев для процессов 1 и 2

| | | | | |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (x_1, x_2) | 1000 0100 | 0100 0100 | 0101 0100 | 1000 1111 |
| $B(x_1, x_2)$ | 7 | 10 | 15 | 22 |
| $\rho(K(x_1, x_2))$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $B_1(x_1, x_2)$ | 7 | 10 | 10 | 11 |

Выполняя аналогичным образом свертку критериев для процессов (1 и 2) и 3 на основе свертки $\rho(K(x_1, x_2))$ и $\rho(K(x_3))$ на базе матрицы $M(\rho(K(x_2)))$ и соотношения (15), получаем следующее решение исходной задачи, таблица 8.

Таблица 8 – Результат свертки критериев для процессов 1 и 2 и процесса 3

| | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| (x_1, x_2, x_3) | 1000 0100 100 | 1000 0100 001 | 1000 0100 110 | 0101 0100 011 |
| $B(x_1, x_2, x_3)$ | 11 | 14 | 20 | 31 |
| $\rho(K(x_1, x_2, x_3))$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $B_1(x_1, x_2, x_3)$ | 11 | 7 | 11 | 10 |

Таким образом, для достижения, в частности, оценки эффективности, равной 4, требуется минимум 31 единица ресурсов, причем 10 из них будет израсходовано на сервисы с рентабельностью ниже нормативной.

Заключение. Изложенный метод применим также для решения прямой задачи управления, состоящей в максимизации эффективности K формируемого портфеля сервисов при заданном ограничении B^* на его реализацию. Метод комплексного оценивания применяется в этом случае для оценивания значений критерия для подмножеств сервисов, формируемых как решения частных задач, полученных в результате декомпозиции исходной задачи.

Библиографический список

1. Zimin V.V. Mechanisms of optimum control of changes of IT-services /V.V. Zimin // Modeling and Information Technologies: Selected Papers of the International Scientific School «Paradigma» (Summer-2015, Varna, Bulgaria)/ Compiling Editor Dr.Sc., Prof. O.Ja. Kravets. - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2015. – p.56-64.
2. Селезнев, А.А Построение календарного плана программы регионального развития с учетом взаимозависимости проектов / А.А Селезнев, В.Н. Бурков, В.В. Зимин// Системы управления и информационные технологии. -2014.-№ 3(57).- С.45-48.
3. Бурков, В.Н.Механизмы повышения безопасности дорожного движения: Монография/ В.Н. Бурков, В.Д. Кондратьев, А.В. Щепкин.- М.: Книжный дом ЛИБРИКОМ, 2012.-208 с.
4. OGC-ITIL V3- 6 – Service Lifecycle – Introduction ITIL TSO 2007. -173р.
5. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL): учеб. пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ИТ-ПРОЦЕССОВ

Зимин В.В., Кулаков С.М., Зимин А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Введение. Иерархическая структура показателей (ИТ-метрик) эффективности процессов жизненного цикла ИТ-сервиса, которая положена в основу постановки и процедуры решения рассматриваемой задачи, приведена на рисунке 1 [1].

При формировании конкретного состава показателей отдельных ИТ-процессов могут быть использованы метрики, предлагаемые одним из авторов ITIL-3 П. Бруксом [2]. Показатели первого уровня представляют собой совокупности $\{\mu_{kl}^n \mid n = \overline{1, N_{kl}}\}, l \in L_k, k \in K$, локальных показателей, описывающих эффективность отдельных процессов P_{kl} (k – номер стадии, l – номер процесса в пределах стадии). Функции $z(\mu_{kl}^n(t))$, описывающие затраты ресурсов, необходимых для достижения значений $\mu_{kl}^n(t)$, далее считаются известными. Второй уровень описывает агрегированные (свертка локальных показателей) показатели Q_{kl} эффективности процессов P_{kl} , третий – показатели эффективности q_k стадий P_1, P_2, P_3, P_4 (свертка показателей процессов стадий), четвертый уровень отражает комплексную оценку эффективности q процессов ЖЦС в целом.

Для функции затрат $z(q)$ будем считать справедливым соотношение

$$z(q) = \sum_{k \in K} \sum_{l \in L_k} \sum_{\mu \in N_{kl}} z(\mu_{kl}^n), \quad (1)$$

где $K = \{1, 2, 3, 4\}$ – множество индексов стадий ЖЦС;
 L_k – множество индексов для процессов k -ой стадии.

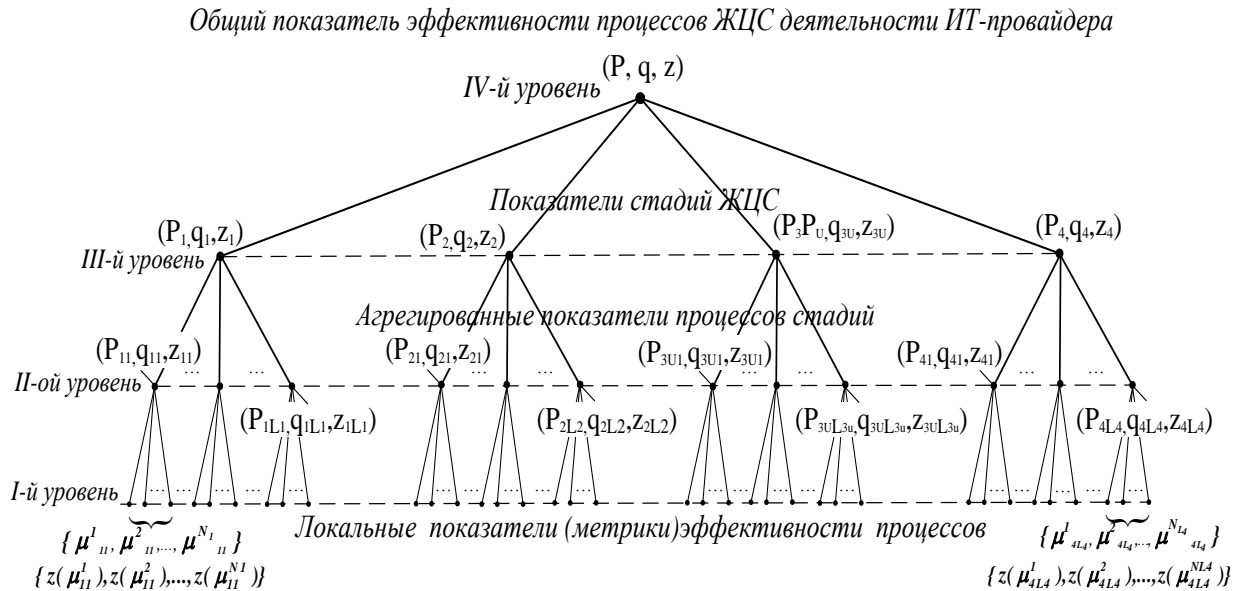


Рисунок 1 – Иерархия показателей эффективности процессов
жизненного цикла ИТ-сервисов

Для оценки численных значений показателей эффективности используется конкретизация известной процедуры *комплексного оценивания*, предлагаемой в теории управления организационными системами [3]. Процедура, в частности, включает операции: приведение множества шкал измерения локальных показателей к единой дискретной балльной шкале заданного ранга R , вычисление средневзвешенных значений показателей, последовательную «дихотомическую» свертку критериев. Применение дихотомической процедуры свертки требует определения порядка свертывания показателей (формирования дерева свертки) и построения соответствующих матриц по парной свертки.

Постановка и процедура решения задачи распределения ресурсов на оптимизацию ИТ-процессов

Используя введенную структурную модель показателей эффективности ИТ-процессов ЖЦС (рисунок 1) формализуем задачу оптимального распределения ресурсов на совершенствование ИТ-процессов следующим образом:

$$q \rightarrow \max, \quad z(q) \leq z^*, \quad (2)$$

То есть задача состоит в нахождении такого распределения ограниченного объема ресурсов z^* на улучшение отдельных ИТ-процессов, которое доставляет максимум целевому показателю q .

Процедура решения задачи на основе метода сетевого программирования. Функции q и z структурно подобны и, следовательно, метод сетевого программирования применим [4]. Изложим процедуру решения задачи для случая, когда ИТ-провайдер реализует две стадии ЖЦС с двумя ИТ-процессами на каждой стадии и двумя локальными показателями эффективности для каждого процесса. Этому случаю соответствует структура показателей эффективности q и затрат z , представленная на рисунке 2.

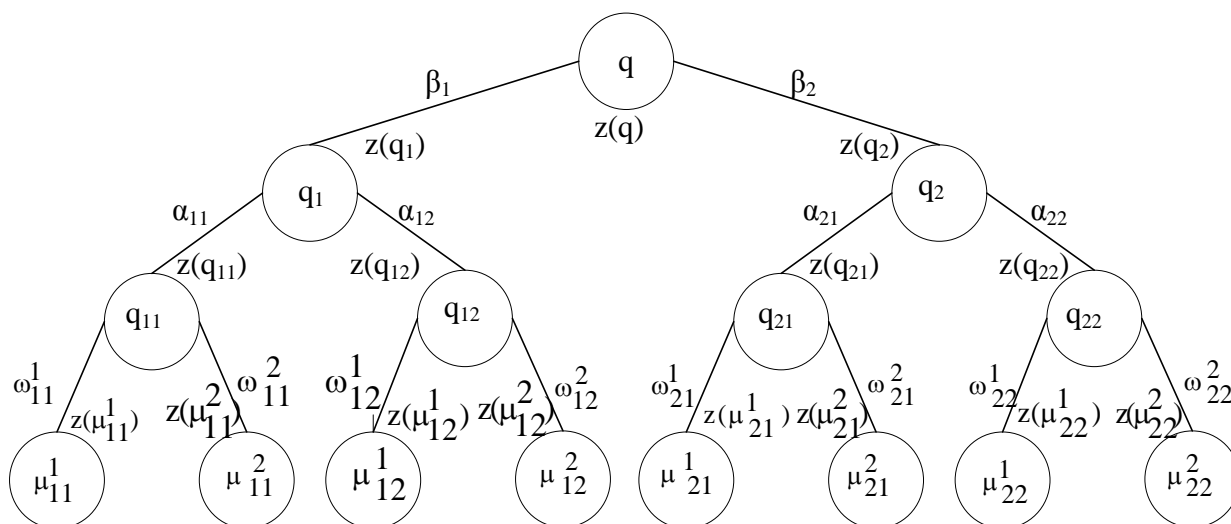


Рисунок 2 – Конкретизированная структура показателей эффективности и функции затрат ИТ-деятельности

Решение этой задачи методом сетевого программирования сводится к последовательному решению 7 частных (оценочных) задач. Положим: $R=3$ (выбираем трехбалльную шкалу измерения для показателей всех уровней: 1 – «плохо», 2 – «удовлетворительно», 3 – «хорошо»), $z^* = 25$. Кроме того, для первой стадии определим следующие исходные данные:

$$\omega_{11}^1 = 0,2, \omega_{11}^2 = 0,8, \omega_{12}^1 = 0,4, \omega_{12}^2 = 0,6, \alpha_{11} = 0,3, \alpha_{12} = 0,7,$$

$$\Delta z(\mu_{11}^1) = 2, \Delta z(\mu_{11}^2) = 3, \Delta z(\mu_{12}^1) = 3, \Delta z(\mu_{12}^2) = 4. \quad (3)$$

Тогда множество допустимых значений μ_{11}^1 и соответствующих значений $z(\mu_{11}^1)$ определяется таблицей 1

Таблица 1 – Зависимость $z(\mu_{11}^1)$

| μ_{11}^1 | $z(\mu_{11}^1)$ |
|--------------|-----------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 4 |
| 3 | 6 |

Множество допустимых значений μ_{11}^2 и соответствующих значений $z(\mu_{11}^2)$ определяется таблицей 2

Таблица 2 – Зависимость $z(\mu_{11}^2)$

| μ_{11}^2 | $z(\mu_{11}^2)$ |
|--------------|-----------------|
| 1 | 3 |
| 2 | 6 |
| 3 | 9 |

Задача 1:

$$\begin{aligned} q_{11}(\mu_{11}^1, \mu_{11}^2) &= \omega_{11}^1 \mu_{11}^1 + \omega_{11}^2 \mu_{11}^2 \rightarrow \max \\ z(\mu_{11}^1, \mu_{11}^2) &= z(\mu_{11}^1) + z(\mu_{11}^2) \leq z^* = 25. \end{aligned} \quad (4)$$

Множество допустимых решений задачи 1 определяется таблицей 3.

Таблица 3 – Допустимые решения задачи 1

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (μ_{11}^1, μ_{11}^2) | (1,1) | (1,2) | (1,3) | (2,1) | (2,2) | (2,3) | (3,1) | (3,2) | (3,3) |
| $q_{11}(\mu_{11}^1, \mu_{11}^2)$ | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| $z(\mu_{11}^1, \mu_{11}^2)$ | 5 | 8 | 11 | 7 | 10 | 13 | 9 | 12 | 15 |

Решения задачи 1 для различных значений q_{11} приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Решения задачи 1

| | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| q_{11} | 1 | 2 | 3 |
| (μ_{11}^1, μ_{11}^2) | (1,1) | (1,2) | (1,3) |
| $z(q_{11})$ | 5 | 8 | 11 |

Множество допустимых значений μ_{12}^1 и соответствующих значений $z(\mu_{12}^1)$ определяется таблицей 5.

Таблица 5 – Зависимость $z(\mu_{12}^1)$

| | |
|--------------|-----------------|
| μ_{12}^1 | $z(\mu_{12}^1)$ |
| 1 | 3 |
| 2 | 6 |
| 3 | 9 |

Множество допустимых значений μ_{12}^2 и соответствующих значений $z(\mu_{12}^2)$ определяется таблицей 6.

Таблица 6 – Зависимость $z(\mu_{12}^2)$

| | |
|--------------|-----------------|
| μ_{12}^2 | $z(\mu_{12}^2)$ |
| 1 | 4 |
| 2 | 8 |
| 3 | 12 |

Задача 2:

$$q_{12}(\mu_{12}^1, \mu_{12}^2) = \omega_{12}^1 \mu_{12}^1 + \omega_{12}^2 \mu_{12}^2 \rightarrow \max$$

$$z(\mu_{12}^1, \mu_{12}^2) = z(\mu_{12}^1) + z(\mu_{12}^2) \leq z^* = 25. \quad (5)$$

Множество допустимых решений задачи 2 определяется таблицей 7.

Таблица 7 – Допустимые решения задачи 2

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (μ_{12}^1, μ_{12}^2) | (1,1) | (1,2) | (1,3) | (2,1) | (2,2) | (2,3) | (3,1) | (3,2) | (3,3) |
| $q_{12}(\mu_{12}^1, \mu_{12}^2)$ | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| $z(q_{12})$ | 7 | 11 | 15 | 13 | 14 | 18 | 13 | 17 | 21 |

Решения задачи 2 для различных значений q_{12} приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Решения задачи 2

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| q_{12} (μ_{12}^1, μ_{12}^2) | 1 | 2 | 3 |
| | (1,1) | (1,2) | (3,3) |
| $z(q_{12})$ | 7 | 11 | 21 |

Задача 3:

$$q_1 = \alpha_{11}q_{11} + \alpha_{12}q_{12} \rightarrow \max$$

$$z(q_1) = z(q_{11}) + z(q_{12}) \leq z^* = 25. \quad (6)$$

Множество допустимых решений задачи 3 определяется таблицей 9.

Таблица 9 – Допустимые решения задачи 3

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (μ_{11}^1, μ_{11}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,1) | (1,2) | (1,2) | (1,2) | (1,3) | (1,3) | (1,3) |
| (μ_{12}^1, μ_{12}^2) | (1,1) | (1,2) | (3,3) | (1,1) | (1,2) | (3,3) | (1,1) | (1,2) | (3,3) |
| $q_1(q_{11}, q_{12})$ | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| $z(q_1)$ | 12 | 16 | 26 | 15 | 19 | 29 | 18 | 22 | 32 |

Решения задачи 3 для различных значений q_1 приведены в таблице 10

Таблице 10 – Решения задачи 3

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| q_1 (μ_{11}^1, μ_{11}^2) (μ_{12}^1, μ_{12}^2) | 1 | 2 | 3 |
| | (1,1) | (1,1) | (1,3) |
| | (1,1) | (1,2) | (1,1) |
| $z(q_1)$ | 12 | 16 | 18 |

Для второй стадии ЖЦС положим:

$$\omega_{21}^1 = 0,3, \omega_{21}^2 = 0,7, \omega_{22}^1 = 0,4, \omega_{22}^2 = 0,6, \alpha_{21} = 0,4, \alpha_{22} = 0,6,$$

$$\Delta z(\mu_{21}^1) = 1, \Delta z(\mu_{21}^2) = 2, \Delta z(\mu_{22}^1) = 3, \Delta z(\mu_{22}^2) = 2. \quad (7)$$

Решая аналогичным образом задачи 4-6, получим решение задачи 6, таблица 11.

Таблица 11 – Решения задачи 6

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| q_2 (μ_{21}^1, μ_{21}^2) (μ_{22}^1, μ_{22}^2) | 1 | 2 | 3 |
| | (1,1) | (1,1) | (1,2) |
| | (1,1) | (1,2) | (2,3) |
| $z(q_2)$ | 8 | 10 | 17 |

Положим $\beta_1 = 0,6$ и $\beta_2 = 0,4$.

Задача 7:

$$q = \beta_1 q_1 + \beta_2 q_2 \rightarrow \max$$

$$z(q) = z(q_1) + z(q_2) \leq z^* = 25. \quad (8)$$

Множество допустимых решений задачи 7 определяется таблицей 12.

Таблица 12 – Зависимость $z(q)$

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (μ_{11}^1, μ_{11}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,1) | (1,1) | (1,1) | (1,1) | (1,3) | (1,3) | (1,3) |
| (μ_{12}^1, μ_{12}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,1) | (1,2) | (1,2) | (1,2) | (1,1) | (1,1) | (1,1) |
| (μ_{21}^1, μ_{21}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,2) | (1,1) | (1,1) | (1,2) | (1,1) | (1,1) | (1,2) |
| (μ_{22}^1, μ_{22}^2) | (1,1) | (1,2) | (2,3) | (1,1) | (1,2) | (2,3) | (1,1) | (1,2) | (2,3) |
| $q(q_1, q_2)$ | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| $z(q)$ | 20 | 22 | 29 | 24 | 26 | 33 | 26 | 28 | 35 |

Решения задачи 7 для различных значений q приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Решения задачи 7

| | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| q | 1 | 2 | 3 |
| (μ_{11}^1, μ_{11}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,3) |
| (μ_{12}^1, μ_{12}^2) | (1,1) | (1,2) | (1,1) |
| (μ_{21}^1, μ_{21}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,1) |
| (μ_{22}^1, μ_{22}^2) | (1,1) | (1,1) | (1,2) |
| $z(q)$ | 20 | 24 | 28 |

Таким образом, для достижения оценки «плохо» необходимо вложить 20 единиц ресурсов (при этом в улучшение μ_{11}^1 необходимо вложить 2 единицы ресурсов, в μ_{11}^2 – 3 единицы, в μ_{21}^1 – 3 единицы, в μ_{21}^2 – 4 единицы, в μ_{22}^1 – 1 единицу, в μ_{22}^2 – 2 единицы, в μ_{12}^1 – 3 единицы, в μ_{12}^2 – 2 единицы). Для достижения оценки «удовлетворительно» требуется 24 единицы, оценка «хорошо» при ресурсах в 25 единиц недостижима.

Заключение. В общем случае метод сетевого программирования не гарантирует нахождение оптимального решения исходной задачи, но позволяет найти «достаточно» эффективные решения, которые могут быть использованы в качестве верхних (нижних) границ для метода ветвей и границ, который нахождение такого оптимума обеспечивает.

Библиографический список

1. Зимин, В.В. Система непрерывной оптимизации ИТ-процессов провайдера/ В.В. Зимин, М.В. Пургина, Р.С. Койнов, А.С.Добрынин//XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16 – 19 июня 2014 г.: Труды. М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2014. – С. 5296 – 5308.
2. Брукс П. Метрики для управления ИТ-услугами / Питер Брукс; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – С. 283.
3. Бурков, В.Н. Механизмы повышения безопасности дорожного движения: Монография/ В.Н. Бурков, В.Д. Кондратьев, А.В. Щепкин. – М.: Книжный дом ЛИБРИКОМ, 2012.-208 с.
4. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.10/ И.В. Буркова. – Москва, ИПУ, 2012. – 181 с.

КОНКРЕТИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИТ-ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕРВИСОВ

Кулаков С.М., Пургина М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Введение

В условиях быстро изменяющихся требований к информационно-технологическим услугам ИТ-процессы нуждаются в постоянном совершенствовании. Процессы производства (стадии стратегия, проектирование, внедрение и утилизация) и предоставления /поддержки (стадия эксплуатации) ИТ-сервисов являются наиболее динамичным ресурсом, посредством оптимизации которого ИТ-провайдер адаптируется к изменению внешних и внутренних факторов и повышает результативность услуг для потребителя [1].

На стадии эксплуатации сервисов реализуются следующие ИТ-процессы: обработка событий, устранение инцидентов, разрешение проблем, реализация запросов на обслуживание, управление правами доступа к сервисам и другие [2]. Совершенствование ИТ-процессов оценивается по динамике изменения их показателей эффективности, ключевыми из которых являются удовлетворенность потребителей, общие затраты на функционирование процессов, показатели эффективности отдельных процессов и их совокупностей [3].

Далее представлена постановка и процедура решения задачи оптимального распределения ресурсов на совершенствование эксплуатационных ИТ-процессов.

Постановка задачи оптимального распределения ресурсов (задача 1)

Дано:

1) Модель влияния управляющих воздействий (объем инвестиций в усл.ед.) на выходные воздействия (значения локальных показателей эффективности) в табличной форме (таблица 1), отражающая достигнутые к моменту времени t значения семи отобранных показателей эффективности $\{(\bar{\mu}_{ki}^n(t), n = \overline{1,7})$ процесса «обработка инцидентов» – P_{41} в баллах и шести показателей эффективности $\{(\bar{\mu}_{42}^n(t), n = \overline{1,6})$ процесса «выполнение запросов на обслуживание» – P_{42} в баллах при ранге балльной шкалы $R=4$.

Таблица 1 – Достигнутый уровень показателей эффективности процессов P_{41} , P_{42} и объем инвестиций

| Метрики P_{41}, P_{42} Баллы при $R=4$ | Процесс P_{41} «обработка инцидентов» | | | | | | Процесс P_{42} «выполнение запросов на обслуживание» | | | | | | |
|---|---|----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|--|----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | \tilde{z}_{41}^{15} | \mathcal{E}_{16}^1 | $\tilde{\mu}_{41}^{16}$ | \tilde{z}_{41}^{16} | \mathcal{E}_{17}^1 | $\tilde{\mu}_{41}^{17}$ | \tilde{z}_{41}^{17} | \mathcal{E}_{18}^1 | $\tilde{\mu}_{41}^{18}$ | \tilde{z}_{41}^{18} | \mathcal{E}_{19}^1 | $\tilde{\mu}_{41}^{19}$ | \tilde{z}_{41}^{19} |
| 4 | 5 | | 2 | | 7 | 6 | | 15 | 4 | | | 15 | 3 |
| 3 | | | | | | 3 | | 10 | | | | 10 | |
| 2 | | | | | | | | 5 | | | | 5 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |

Числа в ячейках таблицы 1 отражают объем инвестиций $\Delta z^y(\bar{\mu}_{ki}^{\hat{0}n})$ (в усл.ед.) в улучшение локальных показателей процессов P_{41} и P_{42} на 1 балл (при ранге R , равном 4). Темным цветом в таблице 1 показаны достигнутые балльные значения $\bar{\mu}_{ki}^{\hat{0}n}$ локальных показателей эффективности процесса P_{41} и процесса P_{42} .

2) Формула (1) вычисления затрат, необходимых для улучшения показателей эффек-

тивности процессов P_{41} и P_{42} (на 1 балл):

$$z(q_{kl}(t)) = \sum_{n=1}^{N_{kl}} z(\mu_{kl}^{\bar{\sigma}n}(t)) = \sum_{n=1}^{N_{kl}} (\mu_{kl}^{\bar{\sigma}n} - \bar{\mu}_{kl}^{\bar{\sigma}n}) \cdot \Delta z^y(\bar{\mu}_{kl}^{\bar{\sigma}n}), \quad (1)$$

где $\{\mu_{kl}^{\bar{\sigma}n} \mid n = \overline{1, N_{kl}}\}, l \in L_k, k \in K$ – значения локальных показателей эффективности, порождающие множество допустимых решений (в баллах);

$\bar{\sigma}$ – индекс балльного значения показателя;

n – номер локального показателя эффективности;

$k=4$ – номер стадии эксплуатации;

l – номер процесса в пределах стадии;

$K = \{1, 2, 3, 4\}$ – множество индексов стадий ЖЦС;

L_k – множество индексов для процессов k -ой стадии;

$\bar{\mu}_{kl}^{\bar{\sigma}n}, k = 4, l = \overline{1, 2}$ – достигнутые (на основе пятимесячного мониторинга функционирования ИТ-процессов службы эксплуатации поставщика сервисов крупной металлургической компании) к моменту времени t значения локальных показателей эффективности стадии эксплуатации (в баллах);

$\Delta z^y(\bar{\mu}_{kl}^{\bar{\sigma}n}), k = 4, l = \overline{1, 2}$ – значения удельных затрат (усл.ед.).

3) Иерархическое множество показателей эффективности процессов стадии эксплуатации: противодействия инцидентам – P_{41} и выполнения запросов на обслуживание – P_{42} , как наиболее интенсивных потоков заявок на обслуживание (рисунок 1).

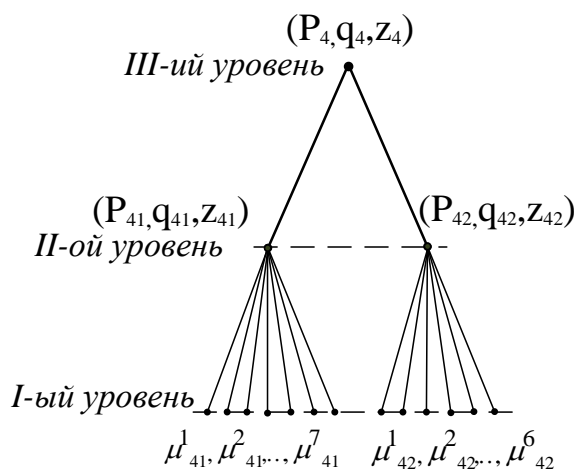


Рисунок 1 – Иерархическое множество показателей эффективности процессов стадии эксплуатации

3.1) формула (1) и допустимые диапазоны значений локальных показателей эффективности ИТ-процессов $[d, D]$;

3.2) нормированные веса ω_{kl}^{in} показателей эффективности $\mu_{kl}^n, k = 4, l = \overline{1, 2}$ и веса $\alpha_{4l}, l = \overline{1, 2}$ процессов P_{41} и P_{42} стадии эксплуатации;

3.3) ранг R – балльной шкалы оценки всех показателей иерархии стадии эксплуатации.

4) Ограничения:

а) вариант 1: суммарный объем распределенных инвестиций не должен превышать их заданный объем $\Delta z_4^* : \sum_{n=1}^7 \Delta z(\bar{\mu}_{41}^{\bar{\sigma}n}) + \sum_{n=1}^6 \Delta z(\bar{\mu}_{42}^{\bar{\sigma}n}) \leq \Delta z_4^*$;

б) вариант 2: обеспечение заданных значений показателя эффективности q_4^* стадии

эксплуатации: $q_4 = q_4^*$.

Требуется: найти такое распределение инвестиций $\{\Delta z(\bar{\mu}_{41}^{\delta n}) | n = \overline{1,7}\}$ и $\{\Delta z(\bar{\mu}_{42}^{\delta n}) | n = \overline{1,6}\}$ на улучшение локальных показателей эффективности процессов P_{41} и P_{42} , для которого:

а) вариант 1: максимизируется показатель эффективности q_4 стадии эксплуатации: $q_4 \rightarrow \max$.

б) вариант 2: обеспечиваются минимально необходимые инвестиции в локальные показатели эффективности процессов эксплуатации: $\sum_{n=1}^7 \Delta z(\bar{\mu}_{41}^{\delta n}) + \sum_{n=1}^6 \Delta z(\bar{\mu}_{42}^{\delta n}) \rightarrow \min$.

В рамках решения задачи 1 приведено решение подзадачи 1.1

Подзадача 1.1 Оценивание балльных значений локальных показателей эффективности ИТ-процессов (для задачи 1, таблицы 1)

Дано:

1. Достигнутое значение показателей эффективности процессов P_{41} и P_{42} стадии эксплуатации в натуральных единицах измерения.

2. Формула $A_{4l}^{\delta}, l = \overline{1,2}$ (2)- преобразования численных оценок локальных показателей эффективности $\mu_{kl}^n, k = 4, l = \overline{1,2}$ стадии эксплуатации процессов P_{41} и P_{42} в балльные значения $\mu_{kl}^{\delta n}, k = 4, l = \overline{1,2}$ единой балльной шкалы ранга R:

$$\{\mu_{kl}^n | n \in N_{kl}\} \xrightarrow{A_{4l}^{\delta}} \{\mu_{kl}^{\delta n} | n \in N_{kl}, \mu_{kl}^{\delta n} = \overline{1, R}\}, l \in L_k, k \in K \quad (2)$$

3. Формула $A_{4l}, k = 4, l = \overline{1,2}$ (3) – вычисления агрегированных балльных оценок показателей эффективности $q_{4l}, l = \overline{1,2}$ выбранного процесса эксплуатации посредством взвешивания балльных значений локальных показателей:

$$q_{kl} = A_{kl}(\{\mu_{kl}^{\delta n} | n \in N_{kl}\}, \{\omega_{kl}^m | n \in N_{kl}\}) = \left[\sum_{n \in N_{kl}} \mu_{kl}^{\delta n} \cdot \omega_{kl}^m \right], \quad (3)$$

4. Формула A_4 (4) – вычисления показателя эффективности стадии эксплуатации- q_4 .

$$q_k = A_k(q_{kl}, \alpha_{kl} | l \in L_k) = \left[\sum_{l \in L_k} \alpha_{kl} \cdot q_{kl} \right], k \in K. \quad (4)$$

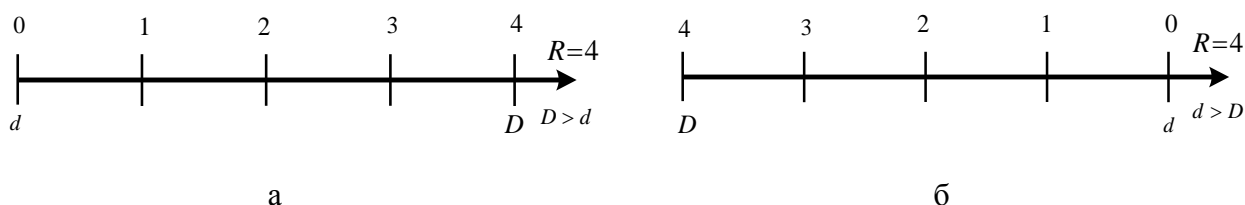
Требуется: оценить значения локальных показателей μ_{kl}^n , выраженных в балльных оценках $\mu_{kl}^{\delta n}$.

Решение подзадачи 1.1.

Процедура оценивания балльных значений локальных показателей эффективности ИТ-процессов

Локальные показатели $\mu_{kl}^n, n \in N_{kl}$ эффективности отдельных процессов P_{kl} отображаются в единой балльной шкале оценки ранга R. Для этого:

- 1) для показателя μ_{kl}^n экспертно определяется диапазон изменения $[d, D]$;
- 2) полученный диапазон разбивается на R- промежутков (рангов), границы которых также определяются экспертно, например, R=4;
- 3) определяется прямая $D > d$ (рисунок 2 а) или обратная $d > D$ (рисунок 2 б) нумерация балльной шкалы.



а – прямая балльная шкала; б – обратная балльная шкала

Рисунок 2 – Балльные шкалы оценки ранга R=4

4) определяются значения показателей μ_{kl}^n балльных оценок $\mu_{kl}^{\bar{b}n}$; для этого на шкале натуральных значений выбирают их численные значения (например, для показателя $\mu_{41}^1 = 28,4\%$) и этим значениям ставят в соответствие балльные значения с последующим округлением до ближайшего большего целого значения (для показателя $\mu_{41}^1 - 3$ балла) (рисунок 3).

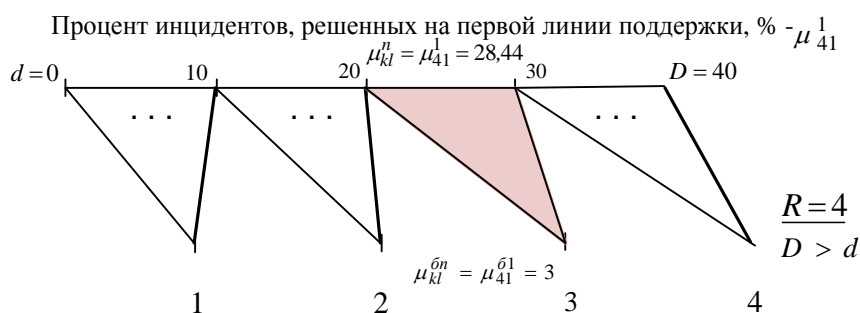


Рисунок 3 – Пример получения балльной оценки для локального показателя эффективности μ_{41}^1 процесса P_{41}

Процедура решения задачи оптимального распределения ресурсов

Решение сформулированной задачи 1 оптимального распределения ресурсов (ОПР) получено путем разработки интерактивной процедуры, в которой ЛППР имеет возможность расширить множество допустимых решений. Решение выполняется в два этапа.

Этап 1. Формирование множества общей части решений для вариантов 1 и 2 задачи оптимального распределения ресурсов

1.1) Формирование множества допустимых решений $\check{Q}(P_{4l}), l = \overline{1,2}$ для процессов P_{41} и P_{42} осуществляем относительно достигнутого (базового) уровня показателей эффективности $\bar{\mu}_{41}^{\bar{b}n}$ и $\bar{\mu}_{42}^{\bar{b}n}$ процессов P_{41} и P_{42} , где балльные значения показателей $\mu_{41}^{\bar{b}n}$ $\mu_{42}^{\bar{b}n}$ множества допустимых решений не должны превышать значения ранга R-балльной шкалы и ни один из достигнутых показателей $\bar{\mu}_{41}^{\bar{b}n}(t) | n = \overline{1,7}$ и $\bar{\mu}_{42}^{\bar{b}n}(t) | n = \overline{1,6}$ не может быть ухудшен:

$$\check{Q}(P_{41}) = \check{Q}(\{\mu_{41}^{\bar{b}n}(t) | n = \overline{1,7}\}, R) = \{\mu_{41}^{\bar{b}n} | R \geq \mu_{41}^{\bar{b}n} > \bar{\mu}_{41}^{\bar{b}n}(t), n = \overline{1,7}\}; \quad (5)$$

$$\check{Q}(P_{42}) = \check{Q}(\{\mu_{42}^{\bar{b}n}(t) | n = \overline{1,6}\}, R) = \{\mu_{42}^{\bar{b}n} | R \geq \mu_{42}^{\bar{b}n} > \bar{\mu}_{42}^{\bar{b}n}(t), n = \overline{1,6}\}; \quad (6)$$

где $\mu_{4l}^{\bar{b}n} | l = \overline{1,2}$ – значения показателей эффективности, порождающие множество допустимых решений стадии эксплуатации (в баллах);

\bar{b} – индекс балльного значения показателя;

n – номер локального показателя эффективности;

$\overline{\mu}_{4l}^{\delta n} | l = \overline{1,2}$ – достигнутые к моменту времени t значения локальных показателей эффективности (в баллах).

Если ЛПР допускает снижение достигнутых значений каких-либо показателей, то он может скорректировать множество допустимых решений, введя соответствующие ограничения на их значения. Множества допустимых решений были получены путем перемножения возможных балльных значений локальных показателей эффективности $\overline{\mu}_{41}^{\delta n}(t) | n = \overline{1,7}$ и $\overline{\mu}_{42}^{\delta n}(t) | n = \overline{1,6}$, исключая состояние значений показателей самого достигнутого уровня и ниже его.

1.2) Оценивание агрегированных показателей эффективности множества допустимых решений для процессов P_{41} и P_{42} на основе аддитивной свертки этих показателей:

$$q_{4l} = A_{4l}(\{ \mu_{4l}^{\delta n} | n = \overline{1, N_{4l}} \}, \{ \omega_{4l}^{mn} | n = \overline{1, N_{4l}} \}) = \left[\sum_{n \in N_{4l}} \mu_{4l}^{\delta n} \cdot \omega_{4l}^{mn} \right], l = \overline{1,2}, \quad (7)$$

а также оценивание затрат на улучшение этих показателей (на 1 балл) для каждого элемента, относящегося к множествам $\{ \check{Q}(P_{4l}), l = \overline{1,2} \}$:

$$z(q_{4l}) = \sum_{n=1}^{N_{4l}} z(\mu_{4l}^{\delta n}) = \sum_{n=1}^{N_{4l}} (\mu_{4l}^{\delta n} - \overline{\mu}_{4l}^{\delta n}) \cdot \Delta z^y(\overline{\mu}_{4l}^{\delta n}), \quad (8)$$

где $\mu_{4l}^{\delta n}$ – значения локальных показателей эффективности стадии эксплуатации (в баллах);

$\overline{\mu}_{4l}^{\delta n}$ – достигнутые (на основе пятимесячного мониторинга функционирования ИТ-процессов службы эксплуатации поставщика сервисов крупной металлургической компании) к моменту времени t значения локальных показателей эффективности эксплуатации (в баллах);

ω_{4l}^{mn} – нормированные веса показателей эффективности эксплуатации;

$\Delta z^y(\mu_{4l}^{\delta n}) | l = \overline{1,2}$ – удельные затраты на улучшение локальных показателей эффективности.

1.3) Включение результатов $(q_{4l}, z(q_{4l}))$ п. 1.2 *этапа 1* в структуру множества допустимых решений $\check{Q}(P_{4l}) = \check{Q}(\{ \mu_{4l}^{\delta n}(t) | l = \overline{1,2} \})$ п. 1.1 *этапа 1*:

$$Q(P_{4l}) = \{ (q_{4l}, z(q_{4l})), \{ \mu_{4l}^{\delta n} | n = \overline{1, N_{4l}} \} \}, l = \overline{1,2}. \quad (9)$$

1.4) Формирование множества $Q(P_4)$ общей части решений для вариантов 1 и 2 как произведения множеств $Q(P_{41})$ и $Q(P_{42})$:

$$Q(P_4) = \prod_{l=1}^2 Q(P_{4l}), l = \overline{1,2}. \quad (10)$$

1.5) Оценивание показателей эффективности стадии эксплуатации Q_4 и затрат

$\Delta z(q_4) = \sum_{l=1}^2 \Delta z(q_{4l})$ для каждого элемента множества $Q(P_4)$ на основе аддитивной свертки этих показателей и включение результатов п. 1.5 *этапа 1* в структуру элементов п.1.4 этого же этапа:

$$Q(P_4) = \{ (q_4, z(q_4)), \{ (q_{4l}, z(q_{4l})), \{ \mu_{4l}^{\delta n} | n = \overline{1, N_{4l}} | l = \overline{1,2} \} \} \}. \quad (11)$$

Последующее решение задачи ОРР может осуществляться для двух вариантов.

Этап 2. Построение и выбор решений для вариантов 1 и 2 задачи оптимального

распределения ресурсов на основании сформированного множества $Q(P_4)$

а) вариант 1: упорядочить элементы множества $Q(P_4)$ по убыванию q_4 и возрастанию $z(q_4)$ и представить результат упорядочения в соответствии со структурой таблицы 2. Первый по порядку элемент, для которого $\Delta z(q_4) \leq \Delta z_4^*$ соответствует искомому решению. Если такого элемента нет, то решение задачи не существует.

Таблица 2 – Упорядоченное множество решений задачи ОРР, представленное для ЛПР

| | | | | | | | | | |
|--------|------------------------|---------------------|---------------------|-----|---------------------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| q=R=4 | 4 | 4 | 4 | ... | 4 | ... | 4 | ∅ | ∅ |
| z(q=4) | z ₁ (4)=min | ≤z ₂ (4) | ≤z ₃ (4) | ... | ≤z _n (4) | ... | ≤z _{N4} (4) | ∅ | ∅ |
| q=3 | 3 | 3 | 3 | ... | 3 | ... | ... | 3 | ∅ |
| z(q=3) | z ₁ (3)=min | ≤z ₂ (3) | ≤z ₂ (3) | ... | ≤z _n (3) | ... | ... | ≤z _{N3} (3) | ∅ |
| q=2 | 2 | 2 | 2 | ... | 2 | ... | ... | ... | 2 |
| z(q=2) | z ₁ (2)=min | ≤z ₁ (2) | ≤z ₁ (2) | ... | ≤z _n (2) | ... | ... | ... | ≤z _{N1} (2) |
| q=1 | 1 | 1 | 1 | ... | 1 | ... | ... | 1 | ∅ |
| z(q=1) | z ₁ (1)=min | ≤z ₁ (1) | ≤z ₁ (1) | ... | ≤z _n (1) | ... | ... | ≤z _{N1} (1) | ∅ |

б) вариант 2: выбрать тот элемент из второго столбца сформированной таблицы 2, для которого $q_4 = q_4^*$.

Примечание. Предложенная процедура обеспечивает нахождение решений задачи оптимального распределения ресурсов для вариантов 1 и 2 при условии, что ни один из достигнутых показателей $\{\bar{\mu}_{41}^{gn}(t) | n = \overline{1,7}\}$ и $\{\bar{\mu}_{42}^{gn}(t) | n = \overline{1,6}\}$ не может быть ухудшен. Если ЛПР допускает снижение достигнутых значений каких-либо показателей, то он может скорректировать множество допустимых решений, введя соответствующие ограничения на их значения.

Для нахождения решений описанных задач разработано специальное программное обеспечение. С его применением для значений ранга R=4 и R=5 получены решения для вариантов 1 и 2 задачи оптимального распределения ресурсов. Отметим, в частности, что при R=4 и $\Delta z_4^* = 3$ достигнутое значение $\bar{q}_4(t) = 3$ улучшить не удастся. Решение задачи для варианта 2 подтверждает этот результат, так как показывает, что для $q_4^* = 4$ минимально необходимые затраты $\Delta z_{\min}(q_4^* = 4) = 5$.

Библиографический список

1. Пургина М.В. Об оценивании эффективности ИТ-процессов жизненного цикла сервисов / М.В. Пургина, С.М. Кулаков, В.В. Зимин, Р.С. Койнов // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии (ИТСиТ-2014): Материалы Всероссийской научно-практической конференции, г. Кемерово, 16-17 октября 2014 г.; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. – С. 145-146.
2. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL): учеб. пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
3. Пургина М.В. Оптимизация системы управления процессами поставщика ИТ-сервисов / М.В. Пургина, С.М. Кулаков // Тезисы XIII Международной научно-технической конференции молодых специалистов; Евраз. – Новокузнецк, 2015. – С. 72 – 74.

РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОТДЕЛЕНИЯ МЕДНЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Мусатова А.И., Кадыков В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

С целью рациональной организации производства и труда, совершенствования системы планирования и оперативного управления, разработки сменно-суточных заданий необходимы обоснованные нормативные показатели (нормы времени на операции, нормы выработки, нормативы производительности агрегатов и фонда времени их работы). При этом важнейшей задачей нормирования является построение нормативных моделей функционирования производственных участков, отделений, цеха. Данная задача рассматривалась на примере отделения меднения проволоки метизного производства.

В исследуемом отделении параллельно функционируют две технологические линии, на которых осуществляется процесс нанесения на поверхность стальной проволоки слоя меди химическим контактным способом. Каждая линия состоит из последовательно расположенных семи ванн: шесть – с погружающими барабанами и направляющими роликами, последняя – специальная с волокодержателем и волоками. Входной материальный поток начинается от участка тонкого волочения. Катушки с проволокой весом 1 т подаются партиями мостовым краном от волочильных станков типа 7/350 на передаточную тележку, транспортируются в отделение меднения, где разгружаются на площадку временного складирования, откуда поочередно подаются краном на размоточное устройство, состоящее из 24 вертикальных разматывателей. После установки катушки рабочий-оператор протягивает передний конец проволоки через все ванны и закрепляет ее на намоточном аппарате, включает его для формирования готового мотка в разъемной кассете.

Процессу обработки проволоки в ванне с раствором медного купороса предшествуют процессы в ваннах для: обезжиривания проволоки в щелочном растворе, промывания ее в горячей воде, химического подтравливания в растворе соляной кислоты и промывания в холодной воде. После меднения проволока окончательно промывается в ванне с водой, подвергается процессу волочения (для полировки и уплотнения медного покрытия) и наматывается на кассету. После наполнения кассеты рабочий отрезает проволоку от готового мотка, переводит и закрепляет новый конец на пустую кассету и процесс меднения продолжается.

Параллельно технологическому процессу рабочий производит сварку концов проволоки выработанной и очередной катушки, увязывает готовый моток, снимает его с кассеты на площадку и откатывает на стеллаж, где навешивает бирку. Затем партия мотков подается краном на площадку, где рабочие упаковывают каждый моток, формируют партии для отгрузки их на склад готовой продукции.

Сложность организации материальных потоков в отделении заключается в том, что на каждой технологической линии одновременно и синхронно обрабатываются 24 «нитки» проволоки в семи последовательно расположенных ваннах. Затем «нитки» протягиваются до намоточных аппаратов, на которых формируются 24 мотка омедненной проволоки диаметром от 0,8 до 2,0 мм и весом 10 – 80 кг.

В отделении меднения каждую технологическую линию обслуживает бригада рабочих, которая выполняет (кроме перечисленных выше) следующие функции: корректирование температуры растворов в ваннах, контроль состава электролитов, замена и установка катушек, нарезка проволоки для обвязки готовых мотков, смена роликов, барабанов, тормозных колодок, протиров; наладка и контроль технологического процесса в ваннах; доставка необходимых деталей к рабочему месту и т.п.

При нормировании длительности производственных операций предварительно изучалась и анализировалась существующая организация материальных потоков в отделении

меднения (их непрерывность и параллельность), степень загрузки и согласованности в работе механизмов, агрегатов; организация труда рабочих-операторов (уровень механизации ручного труда, степень участия и влияния на протекание производственного процесса).

Для определения нормативной производительности отделения меднения и норм выработки производственных рабочих предварительно выполнено вербальное описание производственных операций, включающее: наименование, фиксажные точки начала и окончания операции, вид и параметры используемого оборудования, характер операции. Осуществлена структуризация текущих простоев технологических линий. Построены формульные модели, характеризующие многовариантную работу технологической линии меднения, которые используют для построения алгоритм моделирования, рисунок 1. На базе этого алгоритма разработана нормативная ситуационная модель функционирования отделения меднения для расчета следующих показателей:

- нормы времени на выполнение рабочим ручных циклических операций с декомпозицией их на элементы и микроэлементы (приемы, действия, движения);
- машинное время меднения проволоки (технически возможное и нормативное) с учетом скоростных режимов намоточных аппаратов;
- нормативы длительности простоев технологической линии;
- нормативные коэффициенты использования оборудования (технологической линии) и нестабильности выполнения рабочим ручных операций;
- технически возможный и нормативный такт работы линии при изготовлении единицы продукции (мотка) с учетом скорости намоточного аппарата, диаметра и веса готового мотка;
- технически возможная и нормативная производительность технологической линии на единицу продукции с учетом вышеперечисленных факторов;
- нормативный фонд времени работы отделения меднения;
- многовариантная часовая и сменная производительность (технически возможная и нормативная) отделения меднения при работе двух линий с учетом скоростных режимов намоточных аппаратов, одновременности изготовления мотков («ниток») на каждой технологической линии, диаметра и веса готовых мотков;
- нормативное количество рабочих в бригаде для обслуживания технологической линии в смену (при одновременном изготовлении 24 мотков) в зависимости от скорости намота, диаметра и веса мотка.

Особенностью работы технологической линии является непрерывность процесса меднения. То есть проволока до окончания формирования момента готовности мотка безостановочно проходит последовательно сначала все операции в ваннах (обезжиривания, горячей промывки, травления, холодной промывки, собственно меднения, окончательной промывки), а затем процесс волочения для полировки медного покрытия.

Таким образом, процесс меднения происходит параллельно формированию проволоки в моток, поэтому такт работы технологической линии (технически возможный и нормативный) $T_{d,N}^{me(n)}$ для изготовления одного мотка (рисунок 1, блоки 5 – 10) состоит из машинного времени меднения (намотки проволоки в моток) $t_{d,N}^{me(n)}$, минимально возможного и нормативного времени выполнения рабочим ручных циклических операций $\tau_c^{me(n)}$, неперекрываемых машинным временем:

$$T_{d,N}^{me(n)} = t_{d,N}^{me(n)} + \tau_c^{me(n)}, \text{ ч.} \quad (1)$$

На машинное время меднения проволоки влияют следующие факторы:

- скорость намоточного аппарата $\{V_N, N = 1, 2, \dots, N^*\}$;
- диаметр проволоки $\{d_m, m = 1, 2, \dots, m^*\}$;
- вес мотка $\{G_n, n = 1, 2, \dots, n^*\}$,

где N, m, n – порядковые номера (индексы) перечисленных факторов.

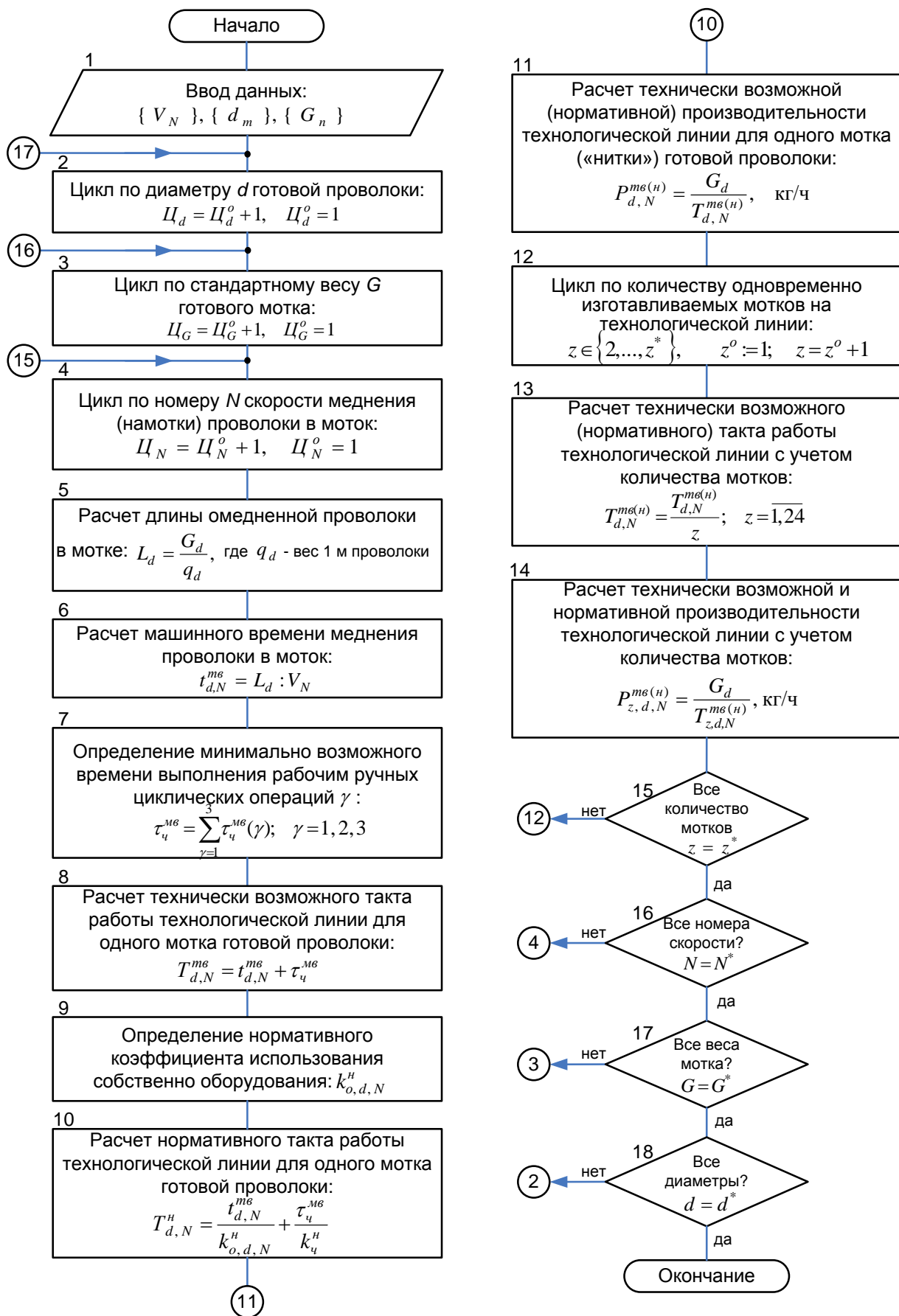


Рисунок 1 – Алгоритм расчета нормативной производительности технологической линии меднения

При этом, выбор скорости намотки определяется качеством поверхности проволоки и концентрацией раствора медного купороса.

Длительность ручных операций устанавливалась на основе обработки хронометражных наблюдений и комплексного нормирования длительности элементов и микроэлементов операций:

$$\tau_{\gamma}^n = \frac{\sum_{\gamma=1}^{\gamma^*} \tau_{\gamma\gamma}^{M6}}{k_{\gamma}^n}, \text{ ч} \quad (2)$$

где k_{γ}^n – нормативный коэффициент нестабильности [1] выполнения рабочим ручных операций;

γ – порядковый номер элемента операции, $\gamma = 1, 2, \dots, \gamma^*$.

Исходя из предлагаемого авторами тактового подхода [2] производительность отделения меднения, как производственной системы (ПС) определяется на основе единого такта его работы с учетом функционирования заданного количества технологических линий (подсистем) и количества используемых «ниток» проволоки на каждой из них. При этом производственные ситуации в зависимости от заказов на определенные виды продукции различаются: скоростными режимами работы технологических линий, количеством одновременно формируемых мотков проволоки, весом каждого мотка и диаметром проволоки.

С целью определения норм выработки предварительно составлена модель для обоснования необходимого количества рабочих-операторов в бригадах за смену (12 ч), обслуживающих технологические линии меднения. Многообразие ситуаций на линиях меднения и в отделении в целом позволяет оптимально распределять загрузку технологических линий и рационально использовать рабочих при планировании и оперативном управлении производственным процессом. Результаты моделирования для конкретного отделения меднения метизного производства фрагментарно приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Ситуационная нормативная модель производительности и объема выработки в отделении меднения проволоки (фрагмент)

| Диаметр проволоки и вес готового мотка | Номер скорости меднения | Такт процесса меднения проволоки на моток, мин | | Нормативный коэффициент использования линии | Нормативная производительность линии, кг/ч | | Фонд времени за смену, ч | Норма выработки, т/смена (смена – 12 ч) | |
|--|-------------------------|--|-------------|---|--|-------------|--------------------------|---|--------------|
| | | технически возможный | нормативный | | на 1 моток | на 24 мотка | | на одну линию | на две линии |
| $d = 1,6$ мм $G = 20$ кг | 2 | 32,39 | 35,59 | 0,91 | 33,72 | 809,28 | 8,42 | 6,81 | 13,62 |
| | 4 | 21,82 | 24,24 | 0,90 | 49,50 | 1188,00 | 8,25 | 9,80 | 19,60 |
| $d = 1,6$ мм $G = 80$ кг | 2 | 127,50 | 134,21 | 0,95 | 35,77 | 858,42 | 9,42 | 8,09 | 16,18 |
| | 4 | 85,23 | 90,67 | 0,94 | 52,94 | 1270,58 | 9,38 | 11,92 | 23,84 |
| $d = 1,2$ мм $G = 20$ кг | 2 | 57,05 | 64,10 | 0,89 | 18,72 | 449,28 | 8,93 | 4,01 | 8,02 |
| | 4 | 38,26 | 42,99 | 0,88 | 27,13 | 651,12 | 8,78 | 5,72 | 11,44 |
| $d = 1,2$ мм $G = 80$ кг | 2 | 226,16 | 251,29 | 0,90 | 19,08 | 457,92 | 9,58 | 4,39 | 8,78 |
| | 4 | 151,00 | 169,66 | 0,89 | 28,29 | 678,96 | 9,58 | 6,50 | 13,00 |

Библиографический список

1. Мусатова А.И., Кулаков С.М. Особенности построения нормативной модели производительности волочильных станков // Научное обозрение – 2014, № 3. – С. 139 – 149.
2. Мусатова А.И., Кадыков В.Н., Кулаков С.М. Оценивание производительности производственной системы на основе тактового подхода // Научное обозрение – 2014, № 5. – С. 253 – 262.

МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОЙ ПРИБЫЛИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В мировой практике на предприятиях используют ряд стандартных методик распределения прибыли. Основание принятия той или иной методики производится различными факторами, многие из которых не поддаются однозначной количественной оценке. На каждом предприятии порядок распределения прибыли, оставшейся после налоговых платежей в бюджет и перечень создаваемых фондов определяются учредительными документами.

Использование прибыли и принципы ее распределения осуществляются предприятием самостоятельно и разрабатываются в зависимости от масштабов прибыли, конкретных направлений деятельности и перспектив развития экономики. Поэтому отдельные направления использования прибыли могут меняться в зависимости от конкретных ситуаций и изменения должны отражаться в учетной политике предприятия.

При распределении прибыли исходят из следующих принципов:

- первоочередное выполнение обязательств перед бюджетом;
- направление на создание фондов накопления и потребления.

Ориентиром для установления соотношения между накоплением и потреблением должно быть состояние основного капитала и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Упрощенная схема распределения прибыли может быть представлена двумя частями: часть прибыли выплачивается в виде дивидендов, вторая, оставшаяся часть, реинвестируется в активы предприятия. Реинвестируемая часть прибыли является источником финансирования затрат, связанных с научно-техническим и производственным развитием, с помощью которой можно экономически обосновать величину необходимых капитальных вложений и прирост потребности в оборотном капитале.

Использование средств на потребление определяется двумя основными факторами: дивидендной политикой предприятия и политикой социальных выплат. При определении размера средств, направляемых на выплату дивидендов, учитывают следующие факторы:

- возможность роста прибыли в результате инвестиций;
- наличие и стоимость инвестиционных проектов;
- необходимость привлечения дополнительного капитала в процессе эмиссии ценных бумаг.

Однако действия перечисленных факторов не должны противоречить требованию оптимизации распределения прибыли. Данная дивидендная политика должна способствовать росту оборота, увеличению собственного капитала, достижению оптимальной структуры капитала. Содержанием дивидендной политики является определение оптимальных пропорций распределения чистой прибыли.

Проблема оптимизации дивидендной политики чрезвычайно актуальна и единого формализованного алгоритма в ее выработке в отечественной практике не существует. Она определяется многими трудноформализуемыми факторами, поэтому каждое предприятие выбирает свою субъективную дивидендную политику, исходя из своих особенностей дея-

тельности предприятия.

При этом финансовый менеджер должен обосновать размер реинвестирования чистой прибыли и возможный размер дивидендов при подготовке материалов к собранию акционеров, исходя из требований Закона «Об акционерных обществах» и соблюдения условия рефинансирования прибыли. Для обоснования размера реинвестирования прибыли необходимо учитывать прирост внеоборотных активов и изменение их величины. Кроме этого, в процессе хозяйственной деятельности изменяется и размер оборотных активов.

При принятии решения о выплате дивидендов следует рассчитывать величину прибыли отчетного года, подлежащей реинвестированию, а также размер прибыли, направляемой на выплату дивидендов. Обоснование распределения чистой прибыли включает в себя следующие этапы:

- определение размера прироста внеоборотного капитала;
- расчет прироста оборотного капитала;
- оценка качества структуры баланса;
- расчет размера выплаты дивидендов.

Для достижения рациональных соотношений между основными направлениями распределения чистой прибыли, обеспечения эффективности и реальности основной пропорции: «потребление – накопление» предлагается декомпозиционный подход к распределению чистой прибыли (рисунок 1).

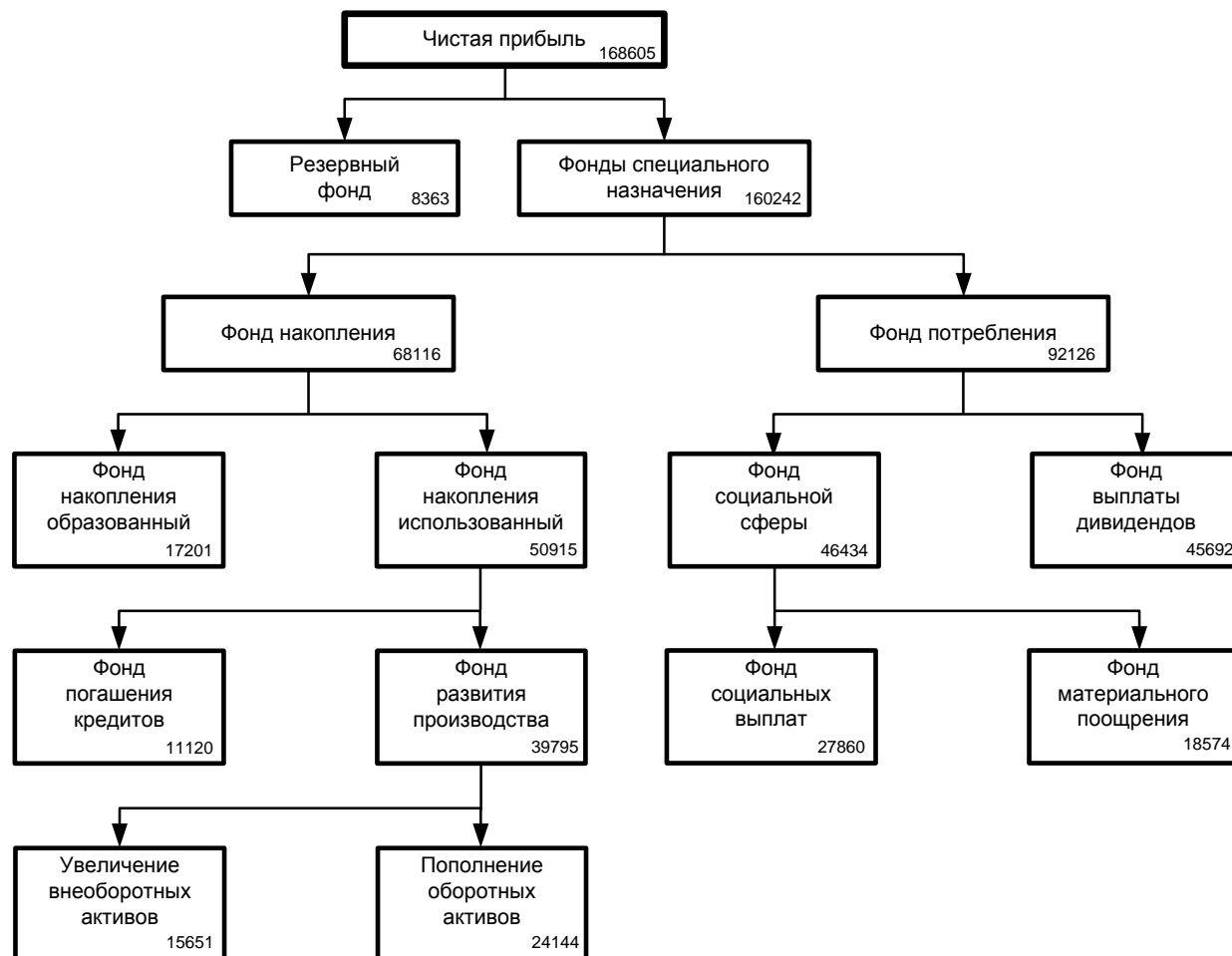


Рисунок 1 – Декомпозиционная схема к распределению чистой прибыли

Результаты распределения чистой прибыли по предлагаемой методике рассмотрены на примере металлургического предприятия (таблица 1). Проведенные расчеты за отчетный период, с использованием бухгалтерского баланса [2] выявили, что на предприятии при-

рост внеоборотных активов составил 12521 тыс. руб., прирост добавочного капитала отсутствовал. Следовательно, сумма средств, необходимая для финансирования прироста внеоборотных активов составила 12521 тыс. руб., причем, его прирост превысил прирост добавочного. В связи с этим финансировать этот прирост необходимо за счет прибыли.

Таблица 1 – Результаты распределения чистой прибыли на металлургическом предприятии (по предлагаемой методике)

| Показатели | Значения | |
|--|-----------|------|
| | тыс. руб. | % |
| Чистая прибыль: | 42158 | 100 |
| 1. Резервный фонд | 2108 | 5 |
| 2. Фонды специального назначения: | 40050 | 95 |
| 2.1. Фонд накопления: | 12521 | 29,7 |
| – фонд образования резервного накопления | – | – |
| – фонд использования (на увеличение внеоборотного и оборотного капитала) | 12521 | 29,7 |
| 2.2. Фонд потребления: | 27529 | 65,3 |
| – фонд выплаты дивидендов | 23400 | 55,5 |
| – фонд социальных выплат: | 4129 | 9,8 |
| – на индивидуальные выплаты | 2753 | 6,5 |
| – на коллективные выплаты | 1376 | 3,3 |

Использование средств в фонд потребления определяется двумя основными факторами: дивидендной политикой предприятия и политикой социальных выплат. При определении размера средств, направленных на выплату дивидендов, учитываются возможности роста прибыли в результате инвестиций, наличие и стоимость инвестиционных проектов, необходимость привлечения дополнительного капитала в процесс эмиссии ценных бумаг. Помимо выплаты дивидендов чистая прибыль направляется в фонд социальных выплат, который предлагается распределять на фонд индивидуального потребления (фонд материального поощрения) и на фонд коллективного потребления (фонд социальной сферы).

Выплата дивидендов учредителям по результатам финансово-хозяйственной деятельности регламентируется Законом РФ [1]. Для принятия решения о возможности выплаты дивидендов необходимо также рассчитать коэффициенты ликвидности и платежеспособности, сравнить их с рекомендуемыми значениями, соответствующими критерию удовлетворительности. За отчетный период на предприятии коэффициент текущей ликвидности близок к рекомендуемому значению и составил 1,87. Коэффициент обеспеченности собственными средствами равный 1,57 – это намного выше рекомендуемого значения.

Сумма дивидендов (D_2), которая может быть выплачена учредителям без нарушения рекомендуемых значений коэффициента ликвидности рассчитывается на основе критерия ликвидности [3]:

$$1 < (TA - 2TO) < D_2 < (TA - TO) < 2,$$

где TA , TO – текущие активы и текущие обязательства за отчетный период до выплаты дивидендов.

Сумма дивидендов (D_3) может быть выплачена без нарушения рекомендуемых значений коэффициента платежеспособности:

$$D_3 < (СК - 0,13С),$$

где $СК$ – собственный капитал до выплаты дивидендов; $3С$ – заемные средства.

Размер дивидендов определяется как минимальное значение:

$$D = \min (D_1, D_2, D_3).$$

Объемная сумма дивидендов при соблюдении требований Закона «Об акционерных

обществах» на анализируемом предприятии определяется следующим образом. На анализируемом предприятии D_2 находится в интервале от 0 до 137674 тыс. руб., D_3 меньше 523168 тыс. руб. Минимальное значение из расчетных величин имеет D_1 . Следовательно, на выплату дивидендов по результатам анализа за отчетный период можно направить 23400 тыс. руб.

Таким образом, на анализируемом металлургическом предприятии сумма дивидендов [3], которая может быть выплачена учредителям без нарушения рекомендуемых значений коэффициента ликвидности, рассчитывается на основе критерия ликвидности и составляет 23400 тыс. руб. Следовательно, на выплату дивидендов по результатам анализа за отчетный период можно направить 23400 тыс. руб. и в фонд социальных выплат 4129 тыс. руб.

Представленная методика определения пропорций между реинвестируемой и потребляемой частями чистой прибыли позволяет обосновать их размеры, направленные в фонды использования, на выплаты дивидендов и социальных выплат, а также обосновать размер дивиденда учредителя на предприятии.

Библиографический список

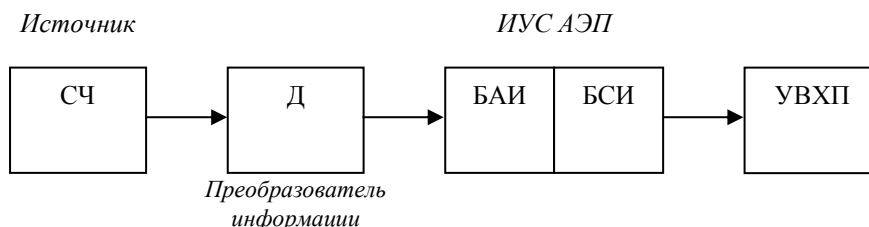
1. Федеральный закон РФ от 26.12.1995 (ред. от 21.07.2014) N 208-ФЗ «Об акционерных обществах» // Российская газета от 29 декабря 1995 г. № 248. (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2014).
2. Валишевская Л.Г. Мусатова А.И. Поэтапное распределение чистой прибыли с учетом реализации стратегии развития предприятия // Финансовые решения XXI века: теория и практика: сборник научных трудов 16-й Международной научно-практической конференции – Санкт-Петербург, 2015. – С. 91 – 95.
3. Шубина Т.В. Распределение прибыли в акционерном обществе // Финансовый менеджмент – № 2. – 2006. – С. 15 – 22.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Островлянчик В.Ю., Поползин И.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Согласно [1], объект, в котором происходят процессы сбора, передачи, анализа и синтеза информации, представляет собой коммутационную сеть. В этом случае АЭП соответствует архитектуре сети с коммутацией сообщений и зонным управлением, т.е. сети, осуществляющей прием, хранение, обработку и передачу информации. Исходя из модели данной сети, канал измерения параметра АЭП можно представить в следующем виде (рисунок 1):

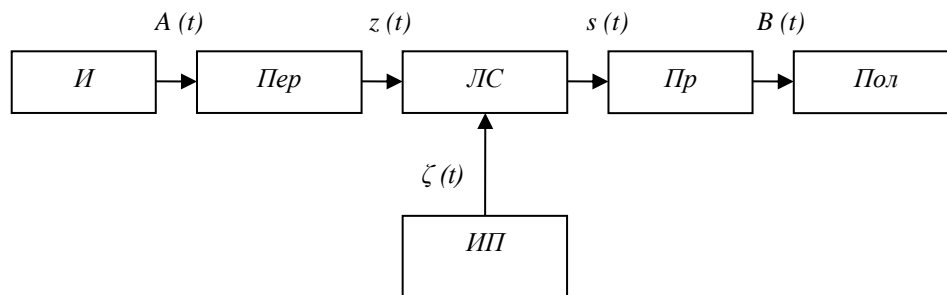


СЧ – силовая часть электропривода; Д – датчик; ИУС ЭП – информационно-управляющая система электропривода; БАИ – блок анализа информации, поступающей от датчиков; БСИ – блок синтеза новой информации

Рисунок 1 – Функциональная схема канала измерения

Для анализа указанного выше требования адекватности представления информации

воспользуемся схемой канала измерения [1] (рисунок 2):



$A(t)$ – исходный сигнал; $s(t)$ – преобразованный сигнал; $\xi(t)$ – сигнал помех; $z(t)$ – сигнал, воспринимаемый приемником; $B(t)$ – сообщение, являющееся копией или несущее информацию о сообщении $A(t)$

Рисунок 2 – Структурная схема канала измерения

Основным требованием к таким каналам является соответствие сигнала $B(t)$ сигналу $A(t)$.

В передатчике происходит обработка (кодирование) сигнала от источника для осуществления передачи по линии связи:

$$s(t) = K[A(t), s_k], \quad (1)$$

где K – функция преобразования;

s_k – вектор кодовых сигналов, зависящий от выбранного метода кодирования. В нашем случае кодирование осуществляется дискретизацией исходного сигнала и представлением его в цифровой форме. В качестве вектора кодовых сигналов будем использовать параметры АЦП датчиков – частоту дискретизации и разрядность.

Воздействие помехи на передаваемую информацию определится как

$$z(t) = L\{K[A(t), s_k], \xi(t)\}, \quad (2)$$

где L – функция помехообразования;

$\xi(t)$ – вектор помех, зависящий от выбранного метода кодирования, метода передачи, линии связи и т.п. В [2] отмечается, что любая помеха имеет случайный характер, при этом устранение помехи путем влияния на ее источник принципиально невозможно.

Конечное сообщение описывается следующим выражением:

$$B(t) = D[z(t)] = D\{L[K[A(t), s_k], \xi(t)]\}. \quad (3)$$

В этом выражении D – метод декодирования информации, определяющийся методом кодирования, необходимым методом представления информации и методом коррекции влияния помех.

Рассмотрим процесс измерения и обработки переменных параметров АД. В первую очередь, к таким параметрам относятся напряжение на статоре АД и ток статора. В дальнейшем обозначим эти координаты как x , поскольку принципиальных отличий между измерением переменного тока и напряжения нет.

Параметры статора АД изменяются по гармоническому закону с частотой f :

$$x = X_{\max}(\omega t + \psi), \quad (4)$$

где x – мгновенное значение координаты;

X_{\max} – амплитудное значение координаты;

ω – циклическая (круговая) частота, c^{-1} ; $\omega = 2\pi f$;

ψ – начальная фаза, c^{-1} .

Отметим, что в общем случае напряжение на статоре АД и ток статора могут содер-

жать высшие гармоники. Однако в [4] отмечается, что высшие гармоники напряжений и токов эффективно демпфируются самой трехфазной обмоткой, и поэтому их влиянием на основные гармоники тока и напряжения можно пренебречь.

При решении большинства задач используется действующее значение переменного параметра [1], [2]. Действующее значение определяется как среднеквадратичное значение переменной величины за период:

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (x^2(t)) dt}. \quad (5)$$

Для синусоидального напряжения и тока действующее значение в соответствии с выражением (5) определится как:

$$X = \frac{X_{\max}}{\sqrt{2}}. \quad (6)$$

Таким образом, ИУС ЭП должна использовать в расчетах действующие значения координат статора, с помощью которых возможно рассчитывать другие параметры двигателя (например, электромагнитный момент и мощность).

Поскольку речь идет о цифровой ИУС ЭП, процесс измерения координат статора производится следующим образом: с определенной частотой измеряются мгновенные значения напряжения или тока статора, а затем с помощью цифровой обработки выборок получаются действующие значения. При такой методике измерений выражение (5) заменяется эквивалентным ему дискретным выражением (7):

$$X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i^2}, \quad (7)$$

где n – количество отсчетов (длина выборки);
 i – номер отсчета.

Длина выборки зависит от выбранной частоты отсчетов (частоты дискретизации) и связана с ней следующим соотношением:

$$n = f_{\Delta} T = n / \Delta t, \quad (8)$$

где f_{Δ} – частота дискретизации;
 Δt – период дискретизации (длина отсчета).

Для обеспечения процесса измерения необходимо определиться с величиной частоты дискретизации. Известно, что заниженная частота дискретизации вызывает искажение сигнала [2]. Определяющим положением при определении частоты дискретизации сигнала с граничной частотой f_c является теорема Котельникова-Шеннона [2]: аналоговый сигнал с граничной линейной частотой f_c может быть восстановлен однозначно и без потерь при частоте дискретизации, равной или большей удвоенной граничной частоте (9).

$$f_{\Delta} \geq 2f_c. \quad (9)$$

Применительно к измерительным процессам и цифровой обработке сигналов удобно пользоваться следующим определением: непрерывный сигнал $x(t)$ можно представить в виде интерполяционного ряда:

$$x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta) \operatorname{sinc} \left[\frac{\pi}{T} (t - k\Delta) \right]; \quad (10)$$

где $x(k\Delta)$ – значения дискретных отсчетов;
 T – период дискретизации, определяемый выражением $0 \leq T \leq 1/2f_c$;

t – время;

$$\sin c = \begin{cases} \frac{\sin x}{x}, & x \neq 0; \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad \text{– ненормированный кардинальный синус, либо}$$

$$\sin c = \begin{cases} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}, & x \neq 0; \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad \text{– нормированный кардинальный синус.}$$

При соблюдении условий теоремы Котельникова, функция $x(t)$ может быть восстановлена из её дискретизации, $x[n]=x(nT)$, согласно интерполяционной формуле Уиттекера – Шеннона:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \sin c\left(\frac{t-nT}{T}\right), \quad (11)$$

В инженерной практике чаще приходится оперировать не частотами, а постоянными времени различных объектов [10]. В [7] показано, что частота дискретизации связана с малой некомпенсируемой постоянной времени объекта следующим соотношением:

$$f_D \geq \frac{1}{(0,4...0,5) \cdot T_\mu}, \quad (12)$$

где T_μ – малая некомпенсируемая постоянная времени системы.

Измерение действующего значения по выражению (14) требует осуществления цифровой фильтрации для исключения влияния шумов [5, 6]. Простейший алгоритм фильтрации заключается в накоплении группы выборок и нахождении среднего значения по группе [5]:

$$X_\Phi = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m X[j], \quad (13)$$

где j – номер выборки;

m – количество выборок в группе.

Для устранения недостатков фильтра с прямоугольным окном применяются другие алгоритмы фильтрации. В [6] предлагается использование фильтра с окном Хэннинга-Хана, который позволяет добиться большего спада АЧХ за полосой пропускания (-31,5 дБ). Однако реализация такого фильтра требует реализации разложения сигнала напряжения в ряд Фурье и оценки спектра сигнала, что снижает быстродействие системы и требует больших вычислительных мощностей.

В [5] для осуществления фильтрации предлагается использование каскадированных sinc-фильтров с z -передаточной функцией типа (14).

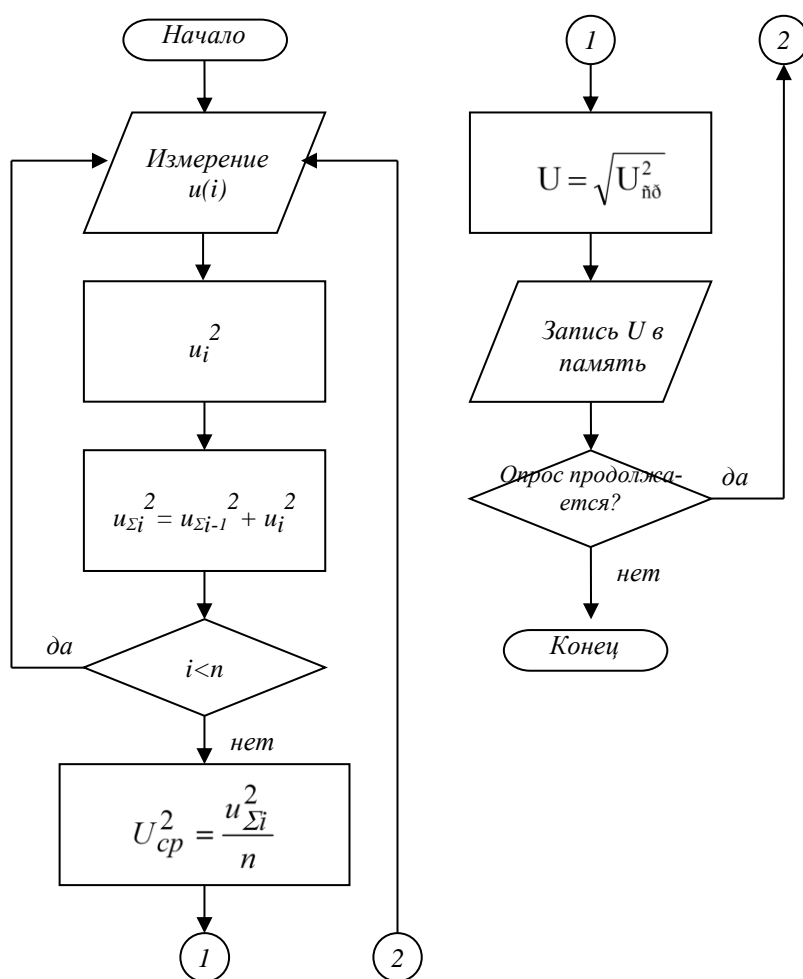
$$H(z) = \frac{1-z^{-M}}{M(1-z^{-1})}, \quad (14)$$

где M – количество выборок.

Другим относительно простым алгоритмом фильтрации с удовлетворительными показателями являются фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры), в частности, фильтры Бесселя и Баттерворта. Такие фильтры требуют немного памяти, но являются более сложными, чем каскад из sinc-фильтров или фильтр с прямоугольным окном [5].

Составим алгоритм определения действующего значения напряжения. Для упрощения алгоритма воспользуемся фильтром с прямоугольным окном, не требующим сложных

вычислений и каскадирования. Блок-схема простейшего алгоритма измерения действующего напряжения на статоре АД приведена на рисунке 3.



u_i – текущее мгновенное значение напряжения; $u_{\Sigma i}^2$ – промежуточная переменная для сохранения суммы квадратов выборок; i – номер выборки; n – объем выборки

Рисунок 3 – Простейший алгоритм определения действующего значения напряжения на статоре АД с использованием фильтра с прямоугольным окном

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- При построении ИИС для систем ЭП на базе асинхронного двигателя в расчетах следует пользоваться действующими значениями координат двигателя;
- Действующие значения координат рассчитываются при помощи выборки из мгновенных значений за период;
- Выбор частоты дискретизации следует производить исходя из динамических свойств двигателя, требуемой точности измерений и имеющихся аппаратных мощностей.

Библиографический список

1. Игнатов В. А. Теория информации и передачи сигналов / В. А. Игнатов. – М.: Сов. радио, 1979. – 280 с.
2. Котельников В. А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В. А. Котельников. – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1956. – 153 с.
3. Круг К. А. Основы электротехники. Том второй. Теория переменных токов / К. А. Круг – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946. – 636 с.
4. Важнов А. И. Переходные процессы в машинах переменного тока / А. И. Важнов. – Л.:

Энергия, 1980. – 256 с.

5. Волович Г. Аналого-цифровое измерение переменного напряжения и теорема Котельникова/ Г. И. Волович // Компоненты и технологии. – 2010. – № 7. – С. 144 – 149
6. Гублер Г. Б., Гутников В. С. Алгоритмы цифровой обработки сигналов многофункционального эталонного прибора для измерений электроэнергетических величин [Электронный ресурс]/ Г. Б. Гублер, В. С. Гутников. – Режим доступа: <http://www.mars-energo.ru/files/content/articles/algorithms.pdf>
7. Островляничик В. Ю., Поползин И. Ю. Метод измерения параметров в информационно-управляющей системе автоматизированного электропривода // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Труды Пятой Всероссийской научно-практической конференции. Под общ. ред. В. Ю. Островляничика. – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – С. 189 – 200.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВА КОНФИГУРАЦИЙ

Турчин Д.Е.

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва,
г. Кемерово, Россия*

В машиностроении трудоемкость сборочных работ достигает 30 % от общей трудоемкости изготовления изделия, что вызвано большой долей ручного труда, недостаточной механизацией (до 20 – 25 %) и низким уровнем автоматизации сборочных работ (8 – 15 %).

Основными причинами низкого уровня автоматизации сборки являются [1]:

- большое разнообразие получаемых соединений и конструктивных форм соединяемых компонентов;
- нетехнологичность конструкции многих узлов и деталей для условий автоматической сборки;
- слабая разработанность моделей различных явлений, имеющих место в процессе автоматической сборки и др.

В настоящее время для обеспечения надёжной автоматической сборки используют два основных способа:

- пассивная адаптация, основанная на использовании упругих элементов, встроенных в сборочное устройство, для коррекции положения соединяемых деталей с помощью сил реакций между деталями; обеспечивает автоматическую сборку соединений с деталями простой формы;
- активная адаптация, основанная на включении в сборочное устройство датчиков для измерения сил и положения соединяемых деталей, а также использовании информации от датчиков для управления процессом автоматической сборки; может обеспечить автоматическую сборку любых соединений при наличии правильного описания геометрических связей и учёте погрешностей.

Целью данной работы является разработка методологического подхода к моделированию геометрических связей, наложенных на движение соединяемых деталей в процессе автоматической сборки с активной адаптацией. Кроме того, требуется разработать методики решения основных практических задач автоматической сборки, базирующиеся на результатах моделирования геометрических связей.

В аналитической механике под геометрическими связями понимают условия, которые устанавливают зависимости между положениями тел механической системы. В аналитической форме геометрические связи записываются с помощью системы из n уравнений:

$$f_j(q_1, q_2, \dots, q_m) = 0; (j = 1, 2, \dots, n),$$

где q_1, q_2, \dots, q_m – обобщённые координаты тел механической системы;
 m – число степеней свободы системы.

Геометрические связи, имеющие место при автоматической сборке, можно разделить на связи, обусловленные наличием контакта между соединяемыми деталями, и связи, вызванные взаимодействием соединяемых деталей с базирующими и ориентирующими элементами сборочного оборудования. В большинстве случаев данные связи нельзя рассматривать как идеальные (связи без трения).

Наличие реакций связей с трением приводит к эффекту заклинивания соединяемых деталей в процессе автоматической сборки. Под заклиниванием понимают такое состояние контакта этих деталей, при котором не удастся продолжить дальнейшее сближение деталей без их повреждения вследствие пропорционального сборочной силе нарастания сил трения в местах контакта деталей.

Одним из методов аналитической механики, используемых для описания геометрических связей, является метод пространства конфигураций [2]. Под конфигурацией механической системы понимают совокупность значений всех обобщённых координат механической системы в определённый момент времени. Пространство конфигураций (конфигурационное пространство) – множество возможных конфигураций механической системы. Размерность пространства конфигураций равна числу степеней свободы m механической системы.

В пространстве конфигураций выделяют следующие области (рисунок 1):

- открытая область, которая состоит из конфигураций, соответствующих свободному относительно расположению тел механической системы;
- закрытая область, в которой каждая из конфигураций задаёт недопустимое положение тел механической системы, поскольку при таких значениях координат имеет место взаимное пересечение тел;
- область контакта, представляющая собой границу между открытой и закрытой областями; содержит конфигурации, которые соответствуют контактному взаимодействию тел механической системы.

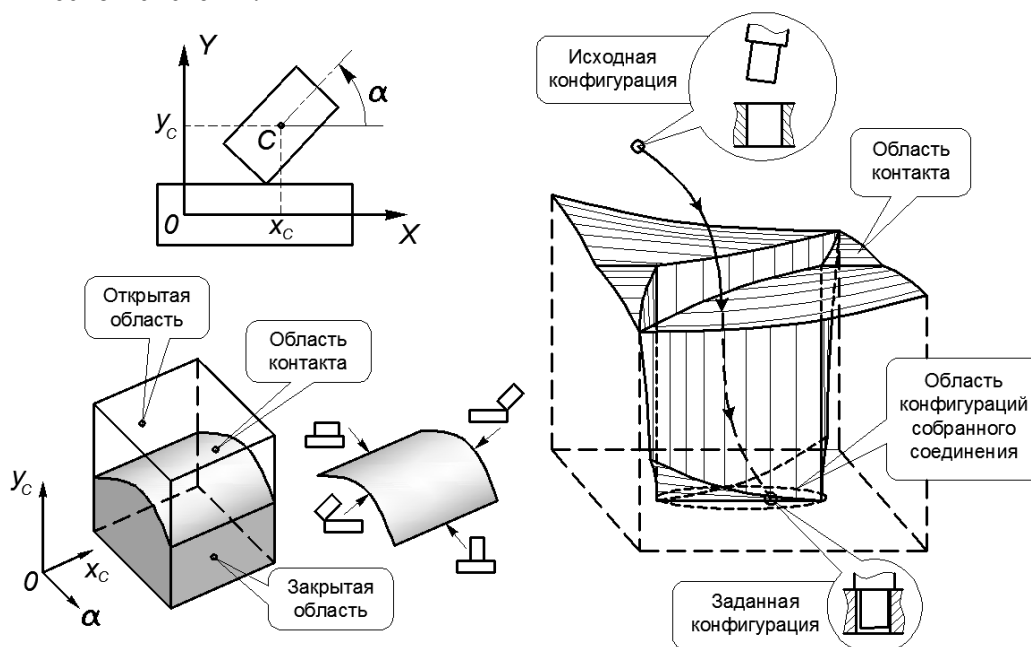


Рисунок 1 – Представление геометрических связей в пространстве конфигураций

Можно отметить следующие проблемы и ограничения, возникающие при использовании метода пространства конфигураций для описания геометрических связей при автоматической сборке [3]:

- применение аналитических подходов к описанию области контакта, что непрак-

точно из-за большого числа конструктивных форм соединяемых деталей;

- большой объём вычислений при решении различных задач (построение области контакта, планирование движений соединяемых деталей), что вызвано большой размерностью решаемых задач ($m \leq 6$);

- рассмотрение соединяемых деталей как абсолютно твёрдых тел, что ограничивает использование метода сборки соединений с зазором, в которых отсутствуют упругие детали.

Для описания геометрических связей потребовалось разработать алгоритм построения пространства конфигураций на основе геометрических (твердотельных) моделей соединяемых деталей. Блок-схема алгоритма для определения конфигураций показана на рисунке 2. В данном алгоритме осуществляется перемещение модели присоединяемой детали в каждую из конфигураций и проверка пересечения моделей в этих конфигурациях. Если пересечения нет, то конфигурация помечается как открытая ($s = 0$), в противном случае конфигурация является закрытой ($s = 1$). Результатом работы алгоритма является список всех конфигураций ListC.

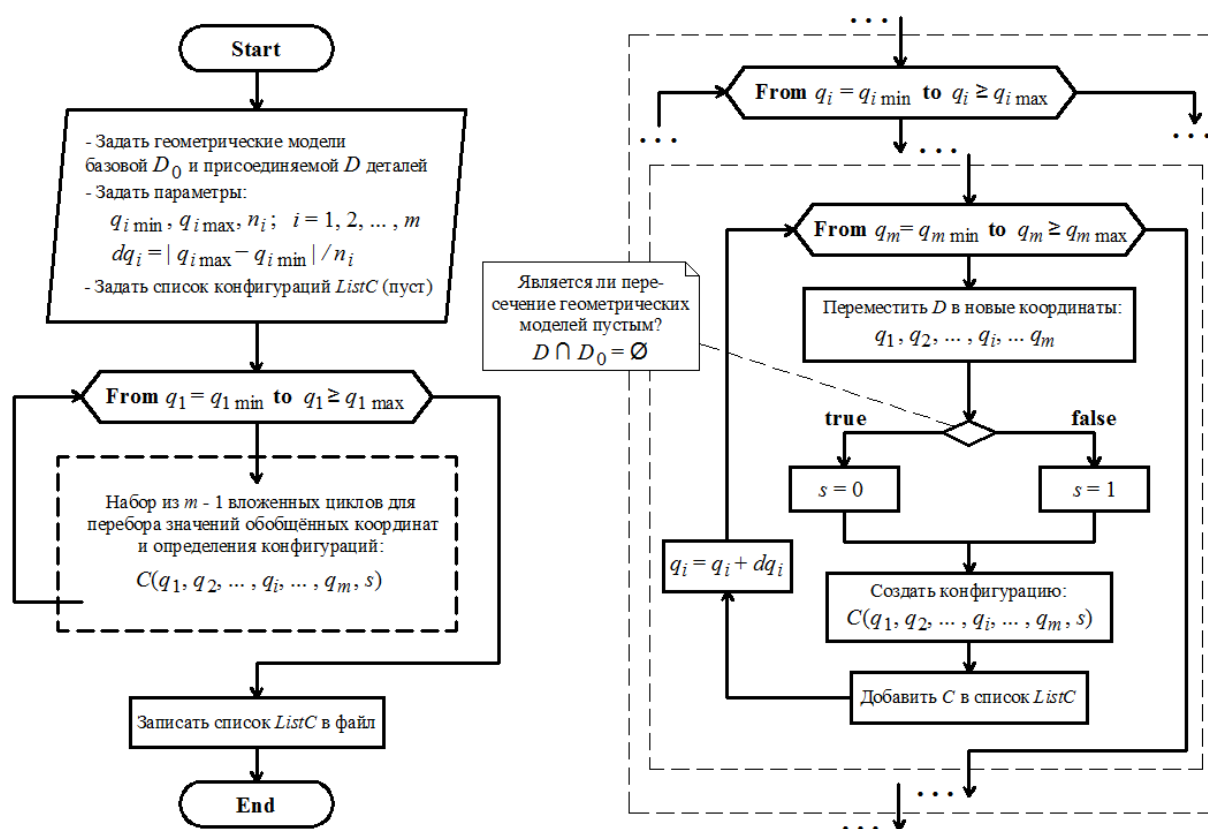


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма построения пространства конфигураций

С помощью полученного списка конфигураций может быть определена область контакта соединяемых деталей. Для этого у каждой из закрытых конфигураций требуется найти соседние с ней конфигурации. Закрытая конфигурация принадлежит к области контакта в том случае, если среди соседних с ней конфигураций существует хотя бы одна открытая конфигурация. На рисунке 3 представлена блок-схема алгоритма, позволяющего определить список конфигураций контакта ListCk.

На основе найденных конфигураций контакта можно, используя специальные алгоритмы планирования движения, получить путь присоединяемой детали из заданной конфигурации в область собранного соединения. Кроме того, можно проверить заклинивание соединяемых деталей в указанной контактной конфигурации при заданной сборочной силе и моменте с помощью метода обобщённых конусов трения [4].

Для реализации полученных алгоритмов и использования их при решении различных задач была разработана программная система, моделирующая геометрические связи при автоматической сборке. Особенностью данной программы является использование твердотельных моделей соединяемых деталей при описании геометрических связей с помощью метода пространства конфигураций.

При разработке программной системы были использованы следующие средства и технологии:

- интегрированная среда разработки MS Visual Studio 2012 и язык программирования C# – разработка интерфейса пользователя, бизнес-логики программы и доступа к данным;

- CAD-система AutoCAD 2010 и программный интерфейс AutoCAD .NET API – работа с 3D-моделями соединяемых деталей, построение областей контакта и путей движения присоединяемой детали;

- расширяемый язык разметки XML – хранение данных о найденных конфигурациях в XML-файлах.

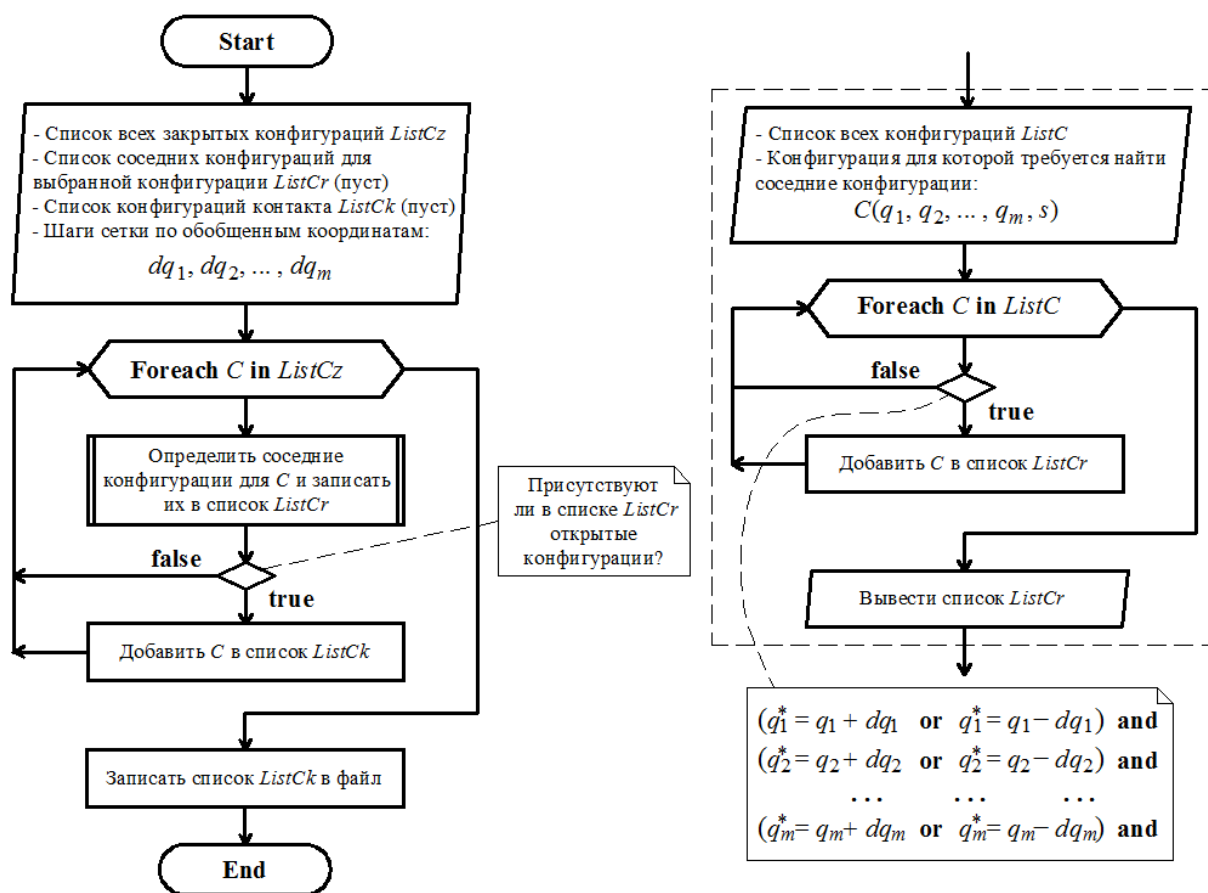


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма определения области контакта

Общая архитектура полученной программной системы в форме диаграммы компонентов UML показана на рисунке 4. Основная логика работы программы, её алгоритмы размещены в библиотеке классов ClassLibConfigs.

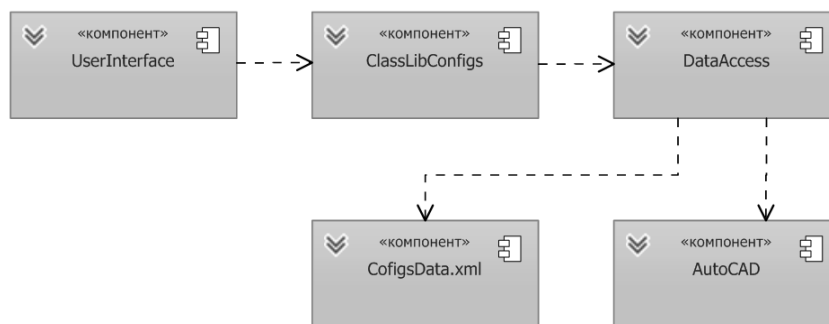


Рисунок 4 – Архитектура программной системы (диаграмма компонентов UML)

Программный компонент `DataAccess` используется для доступа к данным в формате XML и 3D-моделям деталей из AutoCAD. Запись данных о конфигурациях в XML-файл (`ConfigsData.xml`) и чтение данных из него производится с помощью XML-сериализации и десериализации.

Интерфейс пользователя (компонент `UserInterface`) реализован в форме приложения WPF. Общий вид главного окна приложения показан на рисунке 5.

Программа позволяет сгенерировать пространство конфигураций на основе выбранных 3D-моделей деталей, заданных предельных значений координат и числа значений по каждой координате. Кроме того, можно загрузить из XML-файла данные о ранее созданных конфигурациях.

Для визуальной проверки правильности работы алгоритмов с помощью программы можно построить область контакта. Для деталей цилиндрического соединения трёхмерная область контакта, построенная в AutoCAD, показана на рисунке 5.

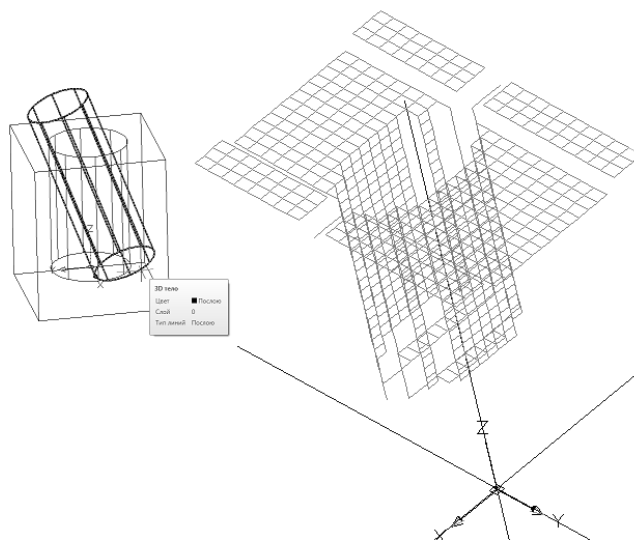


Рисунок 5 – Интерфейс пользователя системы и построенная область контакта

Программа позволяет спланировать путь движения присоединяемой детали из выбранной исходной конфигурации в заданную конфигурацию. Для планирования пути используется алгоритм Дейкстры, который для известной области контакта позволяет получить кратчайший путь между указанными конфигурациями. Полученный путь может быть отображён в AutoCAD в виде ломаной линии.

Полученная с помощью метода пространства конфигураций модель геометрических связей, а также разработанные алгоритмы и программные средства могут быть использованы для решения различных задач механики автоматической сборки. Кроме того, полученное описание геометрических связей может быть применено для управления сборочным роботом с активной адаптацией.

Библиографический список

1. Замятин В.К. Технология и автоматизация сборки. Справочник – М.: Машиностроение, 1993. – 464 с.
2. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. – 3-е изд. – М.: Наука, 1989. – 472 с.
3. Полетаев В.А., Турчин Д.Е. Анализ связей при автоматической сборке с помощью метода пространства конфигураций // Вестник КузГТУ, 2005, № 4.2.
4. M.A. Erdman Multiple-Point Contact with Friction: Computing Forces and Motions in Configuration Space, Proc. IEEE Conf. on Intelligent Robots and Systems, 1993.

ПРОЦЕДУРА ФОРМИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНО-ГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОПОТОКОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ МОНИТОРИРОВАНИИ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Исхаков Р.Р., Федосенков Д.Б., Федосенков Б.А.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Целью исследования является разработка метода отображения (графической визуализации) текущих режимов работы смесеприготовительного агрегата в задаче управления динамикой нестационарных процессов, в частности, процессов дозирования и смешивания сыпучих материалов с целью получения высококачественных смесевых композиций.

В соответствии с поставленной целью, задачами исследования являются: адаптация алгоритма вейвлет-поиска соответствия (ВПС) для аппроксимации сигналов расхода на выходе блока дозирующих устройств, формирование время-частотных отображений (карт Вигнера) этих сигналов, пригодных для идентификации рабочих режимов.

Большинство систем управления процессами дозирования сухих материалов построены на принципе поддержания нагрузки дозаторов являются по своей сути одномерными, использующими для обработки только скалярные осциллографические сигналы материальных потоков. В такой ситуации управление на базе таких сигналов является фактически «слепым», поскольку при этом отсутствует функция визуально-графического контроля за процессом. Поэтому вопросы визуализации процессов дозирования и получения смесей высокого качества на основе автоматизации и управления их динамикой являются актуальными.

При использовании алгоритма вейвлет-поиска соответствия [1], на основе определенной базисной функции $g(t, \tau, s, \xi)$ генерируется информационная среда некоторого вейвлет-тезауруса (словаря) в виде семейства вейвлет-функций путем масштабирования (s), перевода (τ) и модуляции (ξ) последних. В качестве базисной функции была выбрана функция Габора, наилучшим образом соответствующая локальным структурам анализируемых сигналов расхода:

$$g_{\gamma}(t) = S^{-0.5} g\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \exp(j(\xi t + \phi)), \quad (1)$$

где $g\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ – функция Гаусса;

$\gamma = \{\tau, s, \xi\}$ – индекс параметров вейвлета Габора.

Поскольку в словаре вейвлет-функции приводятся в двухполярной форме, анализируемые сигналы для аппроксимации должны представляться в центрированном виде.

На рисунке 1 представлен реальный материалопотоковый сигнал спирального дозатора (а) и сигнал расхода $f^0(t)$ в центрированной форме (б).

Отметим, что здесь центрированный сигнал расхода $f^0(t)$ определяется как

$$f^0(t) = f(t) - \overline{f(t)}, \quad (2)$$

где $\overline{f(t)}$ – среднее значение постоянной составляющей сигнала расхода, $\overline{f(t)} = \frac{1}{t_{pez}} \int_0^{t_{pez}} x(t) dt$, где t_{pez} – интервал регистрации сигнала.

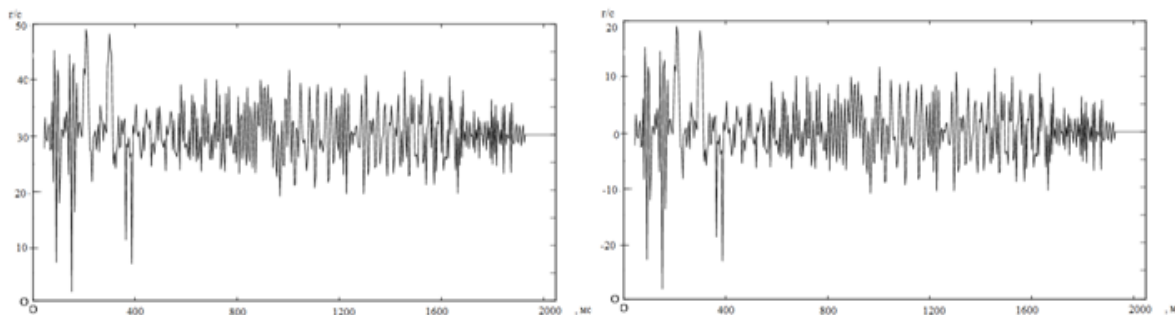


Рисунок 1 – Центрирование сигнала расхода

Ниже приводится процедура реконструкции (восстановления) исходного сигнала на основе его адаптивной аппроксимации рядом сформированным из вейвлет-функций.

Технология итеративного выбора вейвлетов в рамках процесса аппроксимации выделяет так (отметим при этом, что поиск соответствующих функций-аппроксимант производится в словаре вейвлет-функций Габора).

На первом шаге выбирается вектор g_{γ_0} , дающий наибольшее скалярное произведение с сигналом $f(t)$:

$$f = \langle f, g_{\gamma_0} \rangle g_{\gamma_0} + R^1 f. \quad (3)$$

Затем остаточный вектор R^1 , полученный после аппроксимации f в направлении g_{γ_0} , раскладывается подобным же образом. Итеративная процедура повторяется по последующим получаемым остаточным векторам $R^n f$, $n = 0, m$. Таким образом, на каждой итерации (фазе итеративного процесса) выбирается только одна вейвлет-функция g_{γ_i} , где $(i+1)$ – номер итерации для индекса γ_i ; при этом отбираемый вейвлет g_{γ_i} вводится в аппроксимативное выражение (3) по критерию максимума скалярного произведения выбираемой из словаря вейвлет-функции g_{γ_i} и остаточного вектора $R^{i+1} f$ на $(i+1)$ -й итерации. Следовательно,

$$R^n f = \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f, \quad (4)$$

где $R^n f = R^0 f \equiv f(t)$ – остаточный вектор на нулевой итерации, равный исходному анализируемому сигналу $f(t)$.

Таким способом сигнал раскладывается в сумму время-частотных атомов, выбранных оптимально соответствующими остаткам сигнала (см. схему на рисунке 2):

$$f = \sum_{n=0,m} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f. \quad (5)$$

В этой схеме в каждом блоке скалярных произведений вычисляется максимальное значение вейвлет-коэффициента (коэффициента аппроксимации) на определенном i -м итеративном шаге.

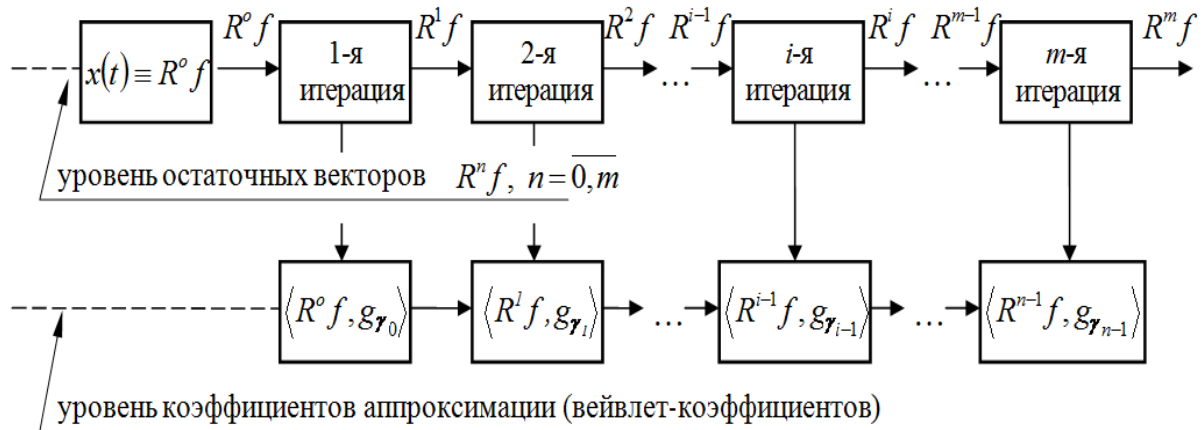


Рисунок 2 – Двухуровневая схема адаптивной аппроксимации сигнала

При этом аппроксимация сигнала $f(t)$ при числе итераций n алгоритма вейвлет-поиска соответствия с помощью словарных вейвлет-функций $g(t)$, выбираемых в направлении индексного вектора γ_n , определяется как

$$f(t) = \sum_{n=0, m \rightarrow \infty} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n}, \quad (5)$$

где вектор номера вейвлет-функции n – также решетчатая функция с единичным шагом.

Пример реализации алгоритма вейвлет-поиска соответствия представлен на рисунке 3.

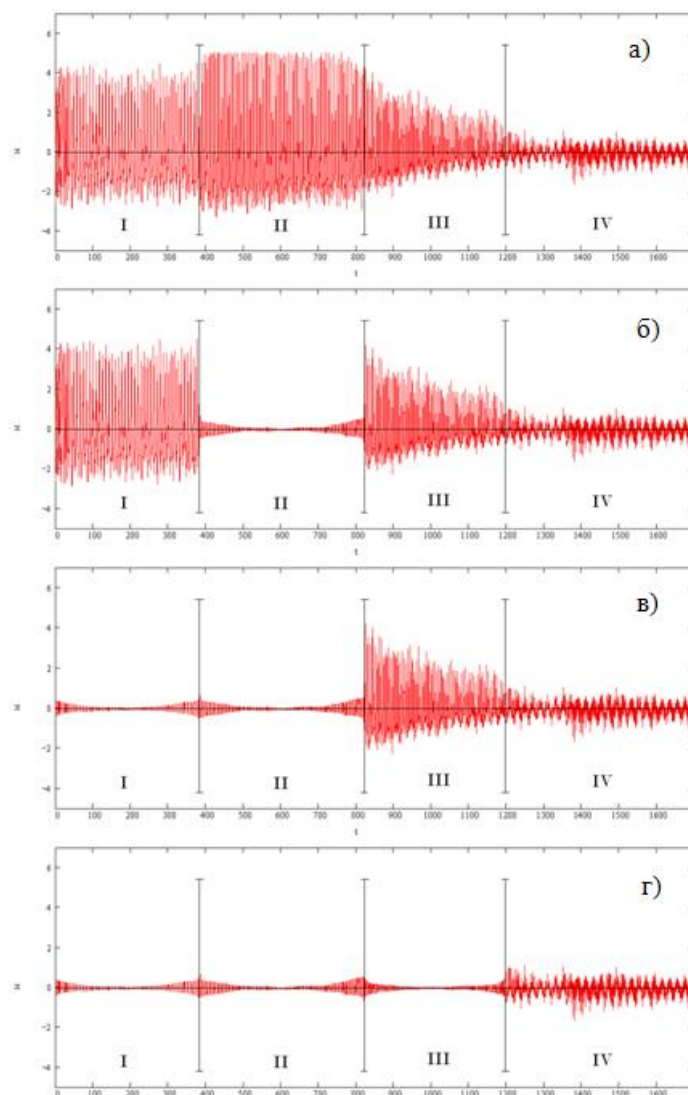
Здесь приведена последовательная процедура обработки исходного сигнала путем итеративного отбора из словаря D вейвлет-функций Габора и получения остаточных сигналов после 1-й, 2-й и 3-й фаз итеративного процесса. Римскими цифрами I, II, III, IV обозначены фрагменты сигнала $f(t)$, которые аппроксимируются тремя время-частотными атомами Габора, причем последовательность аппроксимации с учетом энергетической плотности этих фрагментов и их остатков такова: II → I → III. Фрагмент IV не аппроксимируется, поскольку остаточный сигнал на рис.3г) меньше по норме заданной ошибки аппроксимации $\varepsilon \|f(t)\|$.

Подобная процедура отбора аппроксимирующих вейвлетов для $1D$ -осциллограмм технологических процессов при отображении её во время-частотном пространстве приводит к формированию определенных время-частотных процессных карт [3].

Анализ таких время-частотных отображений (карт) материалопотоковых сигналов и идентификация параметров их элементов, определяющих характер текущих режимов, позволяет эффективно управлять текущим режимом работы дозирочного оборудования широкой номенклатуры.

Научная новизна представленного решения состоит в преобразовании $1D$ -материалопотоковых сигналов расхода в $2D/3D$ -формат в виде время-частотных распределений, полученных средствами вейвлет-преобразований. На практике такое преобразование позволяет повысить эффективность функции управления и одновременно сформировать процедуру синхронно визуально-графического мониторинга, обладающую семантически ясной структурой, позволяющую отслеживать текущий технологический процесс и форми-

ровать управляющие воздействия на исполнительные механизмы агрегата. В лабораториях кафедр «Процессы и аппараты пищевых производств» и «Автоматизация производственных процессов и АСУ» была проведена апробация разработанного способа управления на полупромышленном оборудовании.



а – исходный сигнал; б, в, г – остаточный сигнал после 1-й, 2-й и 3-й итерации
Рисунок 3 – Технология получения остаточных векторов по формуле (4)

Библиографический список

1. Федосенков, Б.А. Управление смесеприготовительным агрегатом на базе вейвлет-преобразований / Б.А. Федосенков, А.С. Назимов, А.В. Шебуков // Автоматизация и современные технологии. Автоматизация научно-исследовательских и производственных процессов. – 2004. – №8. – С. 7–13.
2. Mallat, S. Matching pursuit with time-frequency dictionaries / S. Mallat and Z. Zhang // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1993. – Vol. 41, № 12. – p. 3397-3415.
3. Использование технологии вейвлет-мониторирования как средства управления динамикой стационарных и нестационарных процессов/ К.А. Дацук, Карнадуд Е.Н., Д.Б. Федосенков и др.// Сборник трудов 9-й межд. научно-практической конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 22-23.04.2010, Санкт-Петербург, Россия. – Т. 3. – С. 256 – 258.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Судаков И.В., Симикина А.А., Федосенков Д.Б., Федосенков Б.А.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Ключевую роль в промышленности, городской инфраструктуре, в области капитального и восстановительного строительства играет процесс производства качественного цемента.

Анализ различных исследований как в России, так и в других странах показывает, что одним из самых важных вопросов является процесс дозирования компонентов для получения конечной смеси. На большинстве предприятий все чаще находят применение весовые дозаторы взамен технически устаревших объемных.

При синтезе систем автоматического управления процессом дозирования остается нерешенным ряд вопросов. В частности, недостаточно глубоко изучен вопрос влияния входных сигналов, формируемых весовыми дозаторами, на структурные параметры выходных потоков, а также совместного влияния этих факторов и динамических характеристик смесителей непрерывного действия на качество готовой смеси.

В настоящее время отсутствует системный подход к изучению процессов получения сыпучих смесей, который бы увязывал в единую цепочку процессы дозирования и смешивания с точки зрения кибернетических представлений о динамических системах.

В современных условиях производства на предприятиях перерабатывающей, фармацевтической, горнодобывающей, химической и других отраслей промышленности важное место занимают процессы смешивания сухих сыпучих материалов в смесеприготовительных агрегатах непрерывного действия. При этом повышаются требования к точности и стабильности состава многокомпонентных смесей, получаемых в смесительных аппаратах.

Большинство систем автоматического управления (САУ) процессами производства цементных композиций построены на принципе поддержания нагрузки мелющих агрегатов на определенном уровне путем использования косвенных методов: измерения активной мощности электродвигателя привода, шумов, давления на опорные подшипники и т. п.

Эти системы отличаются низкой точностью и практически не откликаются на изменение качественного состава смеси на выходе смесителя. Эффективным направлением при создании САУ является использование датчиков соотношения компонентов во входном потоке. Кроме того, контролируемой координатой может быть технологический расход определенного компонента на выходе соответствующего дозатора. Таким образом, управляющий сигнал в этом случае воздействует на управляемую координату через изменение частоты вращения двигателя дозатора. Результативность САУ может быть реализована только на базе быстродействующих автоматических датчиков, определяющих качество готовой смеси.

Следует отметить, что на пути разработки подобных датчиков для многих промышленных смесей встречаются большие трудности, чем и объясняется малочисленность работающих в промышленности смесительных установок непрерывного действия с автоматизированными системами управления.

В производстве цемента возникает необходимость применения управляющих компьютерных промышленных комплексов, обладающих возможностью одновременно и контролировать (вести текущий мониторинг процессов), и регулировать работу целого ряда аппаратов: питателей, дозаторов, конвейерных комплексов, смесительных устройств и т. д. Для производства с часто меняющейся рецептурой смеси актуальна разработка гибких автоматизированных систем смесеприготовления, способных реагировать на изменение режимно-конструктивных параметров смесительных агрегатов.

Поскольку процессы смесеприготовления – в силу системно-технологических при-

чин – являются в основном нестационарными, время-частотно-зависимыми, традиционные методы анализа и выработка на их основе соответствующих способов управления рабочими режимами агрегата не могут быть применимы в данной ситуации. Вейвлет-управление в условиях автоматизированного агрегата позволяет избежать возникновения неблагоприятных условий для реализации процесса приготовления смесей.

Существующая на сегодня в научно-технической и индустриальной сферах парадигма автоматизации и управления динамикой технологических процессов фактически почти всегда и повсюду эксплуатирует концепцию их регулирования «вслепую» (без наличия функции синхронного контроля). Особенно это касается высокочастотных процессов, то есть таких, которые протекают с высокими мгновенными время-зависимыми частотами. Отслеживать и анализировать подобные процессы на визуальном уровне в формате одномерных (скалярных, или *1D*-) сигналов с помощью физической или виртуальной измерительной аппаратуры не представляется возможным.

Управление динамикой технологического процесса совместно с его мониторингом при отображении результата контроля в визуально-графической форме представляет собой актуальную задачу.

Одним из специфических способов, позволяющих решить эту задачу, является применение автоматизированного управления процессами в технологических объектах пищевой промышленности, в частности, в смесеприготовительных агрегатах непрерывного действия для производства сухих дисперсных комбинированных продуктов, на базе вейвлет-преобразований.

На базе цеха «Помол» ООО «Топкинский цемент» был изготовлен и смонтирован производственно-исследовательский стенд. Стенд был смонтирован для проведения экспериментальных исследований с целью изучения непрерывно действующего смесеприготовительного агрегата. Схема стенда представлена на рисунке 1.

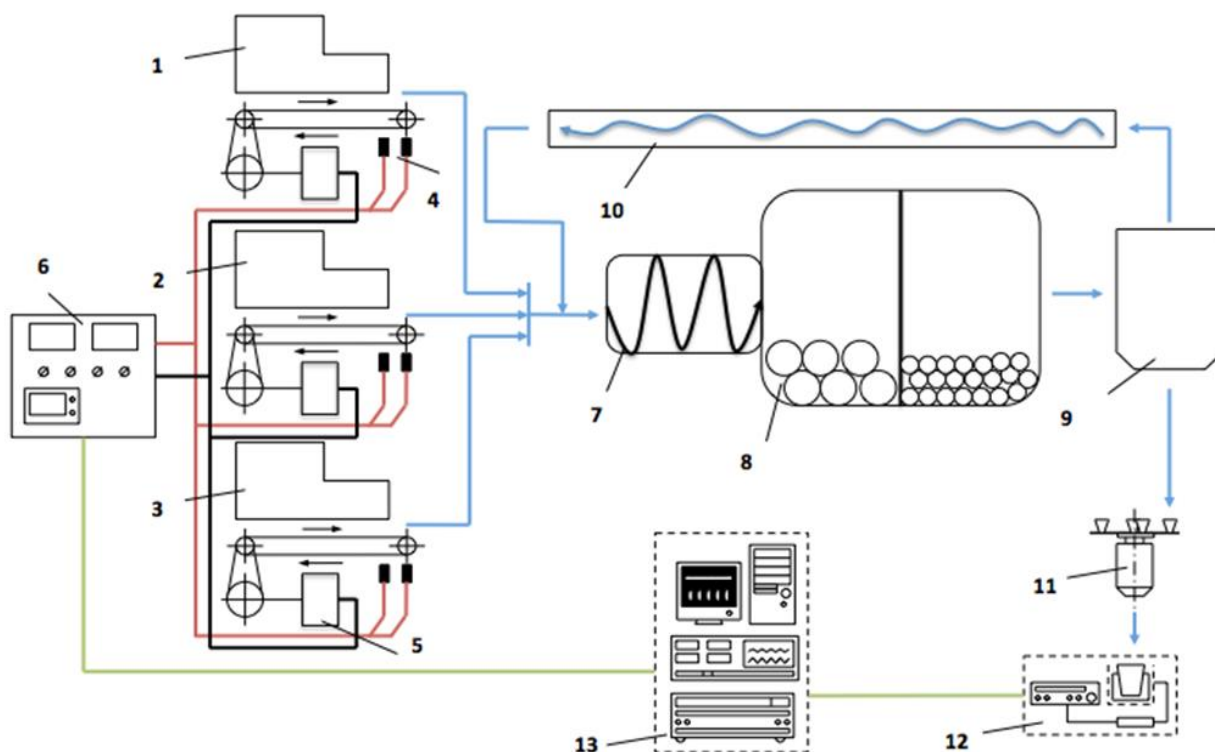


Рисунок 1 – Стенд для проведения экспериментальных исследований

В составе стенда: блок дозирования компонентов (1, 2, 3), цифровые датчики веса и скорости (4), преобразователи частоты вращения двигателей конвейерной ленты (5), блок измерения и управления весовыми дозаторами (6), узел первичного смешивания (7), шаровая мельница непрерывного действия (8), аэрожелоб для транспортировки полуфабриката

(10), центробежное сепарирующее устройство (9), дискретный отборник проб (11), фрагмент производственной лаборатории (12), щит управления и мониторинговый цифровой аппаратно-программный комплекс (13).

В качестве исполнительных механизмов дозаторов использовались двигатели переменного тока с частотными преобразователями, что позволяло варьировать частоту вращения валов электродвигателей в широких диапазонах. Контроль рабочих режимов исполнительных механизмов системы управления выполнялся комплексом встроенных в щит управления (12) приборов и компьютерной системой регистрации процессов. Текущее измерение частоты вращения рабочих органов дозаторов осуществлялось посредством модернизированного тахометрического модуля на базе электронного тахогенератора ТЭ 30 5Р (датчик скорости).

В комплекте весовых дозаторов установлены тензометрические и пьезоэлектрические датчики, входящие в состав блока измерительных преобразователей (6). С их помощью осуществлялась регистрация материалотоковых сигналов. Полученные сигналы затем обрабатывались в управляющем мониторинговом аппаратно-программном комплексе (13). Фиксация сигналов мгновенного расхода осуществлялась также многоканальными магнитоэлектрическими осциллографами, входящими в состав комплекса.

С целью решения задач оптимизации измерений концентраций и расходов материалотоков, а также функционирования смесительного агрегата, был разработан аппаратно-программный мониторинговый комплекс (рисунок 2), сформированный на платформе двух ПЭВМ IBM PC PIV-2,8-3,0 ГГц и включающий интерфейсную плату, блок внешних измерительных преобразователей, модуль фильтрации и интегрированное программное обеспечение.

На рисунке 2 используются следующие обозначения. БДК – блок дозирования компонентов (блок мультидозирования); ШДУ, КДУ, ГДУ – устройства для дозирования шлака, клинкера и гипса соответственно; БУ – блок управления; ПФУ – питающе-формирующий узел; КНОП – каналы направленной организации потоков; ШМНД – шламовая мельница непрерывного действия; СМПА – смесеприготовительный агрегат; М, F, R_{1,2} – основной, байпасный, рецикл-каналы соответственно; X_{БДК}, X_{СМ} – материалотоковые сигналы на выходе БДК и ШМ; 1 – нормирующие усилители; 2 – восьмиканальный коммутатор; 3 – десятиразрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с временем преобразования 30 мкс; 4 – параллельный порт; 5 – буфер шины данных; 6 – адресный дешифратор; 7 – блок сопряжения; 8 – блок опорных частот; 9 – схема частотомера.

С интерфейсным блоком аппаратно сопрягается модуль, содержащий два физических измерительных канала для фиксации сигналов на основе тензометрических и пьезоэлектрических преобразователей. Текущая регистрация материалотоковых сигналов производилась специально разработанными тензодатчиками. Контрольное дублирование регистрируемых сигналов производилось пьезоэлектрическими датчиками. С целью анализа дисперсных характеристик получаемых композиций сформирован канал обработки видеoinформации.

Блок внешних преобразователей включает в себя следующие устройства:

- индуктивный преобразователь;
- преобразователь частоты вращения элементов технологических агрегатов на оптоэлектронной основе;
- измерители интенсивности процесса массопереноса через узлы агрегата тензометрического и пьезоэлектрического типов.

Разработанный мониторинговый управляющий аппаратно-программный комплекс позволяет управлять режимами работы дозирующего оборудования на предсмесительной стадии, что значительно улучшает качество смешивания, а также каналами локального и глобального рециклов смесительного агрегата.

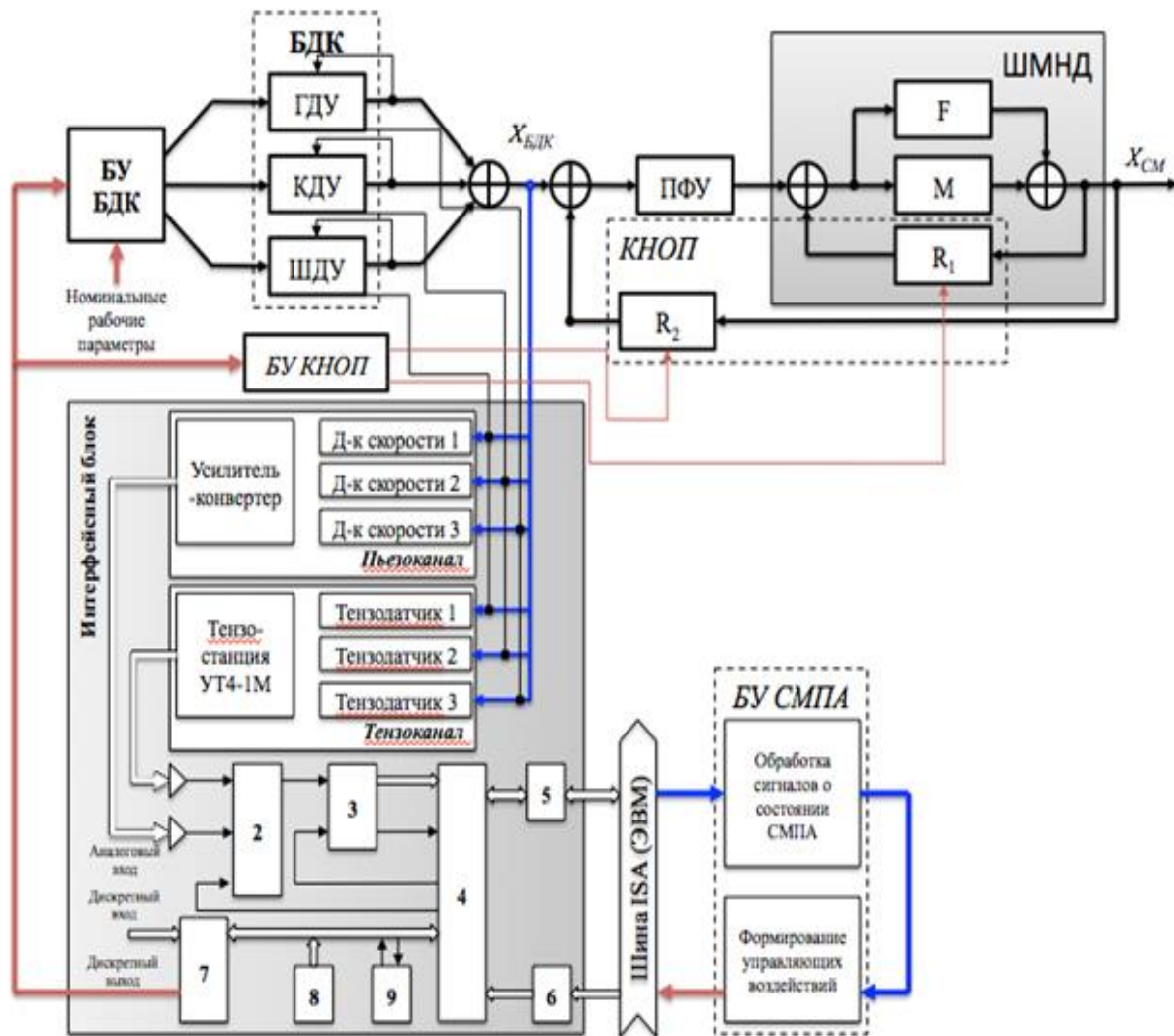


Рисунок 2 – Схема управляющего аппаратно-программного мониторингового комплекса

Таким образом, контроль и управление динамикой смесеприготовления осуществляется с помощью внешних измерительных преобразователей (оптических, тензометрических и пьезоэлектрических) и сегментов комплексной автоматизированной системы управления, использующей в своей основе аппарат теории вейвлет-преобразований. Вся оперативная информация о работе СМПА обрабатывается управляющим мониторинговым аппаратно-программным комплексом с помощью интерфейсного блока, модуля фильтрации и внешних программных пакетов.

Определены и учтены погрешности, создаваемые чувствительными элементами преобразователей, промежуточными звеньями аналогового сегмента измерительного канала, платой сопряжения цифрового фрагмента схемы и модуля фильтрации с РС, а также алгоритмами обработки.

Программное обеспечение включает в себя пакеты, обеспечивающие функционирование блоков интерфейса, и реализующие алгоритмы математической обработки измерений и управления подконтрольными объектами.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОЧИХ ЦИКЛОВ ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Мещеряков Я.Е.^{1,2}, Кориков А.М.², Курышкин Н.П.¹

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва,
г. Кемерово, Россия

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск, Россия

В последние годы технология добычи угля открытым способом является в Кузбассе приоритетной. Это объясняется более низкой себестоимостью процесса по сравнению с подземной добычей и, главное, более безопасной. При этом, современные высокопроизводительные технологические машины, которыми оснащают угольные разрезы, обладают исключительно высокой энерговооружённостью. Так, например, суммарная установленная мощность только одного современного шагающего экскаватора составляет примерно 7000 КВт. Эффективная эксплуатация таких машин должна сопровождаться применением новейших энергосберегающих технологий. К таким технологиям относится оптимизация рабочих циклов на основе их непрерывного автоматизированного мониторинга.

Не менее актуальной проблемой эффективного использования технологических машин на угольных разрезах является создание современных устройств для контроля положения в пространстве рабочей платформы экскаватора. Например, превышение угла наклона поворотной платформы экскаватора ЭШ 10/70 к горизонту всего лишь на 2 градуса приводит к повышению вибронагрузки агрегатов на 12 – 15 % [1].

В настоящее время существующие отечественные механические системы не позволяют качественно выполнять мониторинг угловой ориентации функциональных элементов технологических машин, регистрировать и анализировать полученную информацию о рабочих циклах. Импортные устройства мониторинга очень дороги, сложны в эксплуатации, имеют многоуровневый интерфейс, требуют тщательной отладки и продолжительного обучения оператора-машиниста, что в условиях импортозамещения становятся неэффективными [2].

Решить поставленную задачу позволил разработанный авторами аппаратно-программный комплекс [3, 4]. Он создан на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС) – гироскопов и акселерометров-инклинометров. Гироскоп регистрировал угловую скорость, по значениям которой после интегрирования рассчитывался угол поворота платформы. Для определения её угла наклона использовался акселерометр-инклинометр, по показаниям которого определялся момент её покоя. Комбинируя данные этих двух МЭМС-датчиков, вычислялось положение платформы технологической машины в пространстве в любой момент времени и в течение любого его промежутка.

Применение датчиков других классов, таких как электростатические, лазерные и им подобные нецелесообразно ввиду их очень высокой стоимости и избыточной точности. МЭМС-системы, по нашему мнению, являются идеальным выбором, несмотря на худшие характеристики по сравнению с остальными классами инерциальных измерительных систем [5 – 7].

Аппаратно-программный комплекс был спроектирован по модульному принципу. На рисунке 1 представлена его функциональная схема. Применённый в комплексе аналоговый гироскоп XV-3500CB выдает непрерывный аналоговый сигнал, удобный для предварительной аппаратной обработки различными аналоговыми фильтрами и работает в диапазоне ± 100 градусов в секунду, что более приближено к угловой скорости поворота платформы шагающего экскаватора.

Проведённые исследования частотного спектра (рисунок 2) аналогового сигнала, по-

ступающего с гироскопа, посредством быстрых преобразований Фурье были выявлены низкочастотная ($\sim 0,4$ Гц) и высокочастотная (~ 950 Гц) паразитные гармоники.

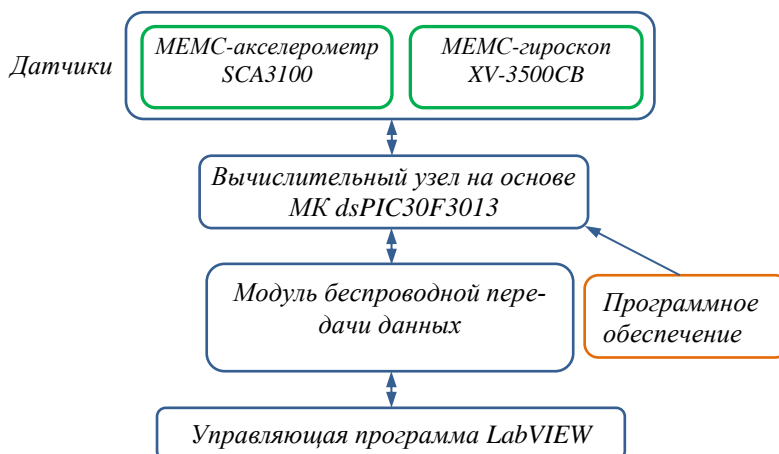


Рисунок 1 – Функциональная схема аппаратно-программного комплекса

Для устранения паразитных гармоник переработан аналоговый тракт, находящийся перед аналого-цифровым преобразователем (АЦП) (рисунок 3). Аналоговый тракт построен на основе операционного усилителя LM358 фирмы Texas Instruments. В качестве низкочастотной цепочки используется C1 & R1, которые дают частоту среза (мощность сигнала падает вдвое) на частоте ~ 950 Гц, а входная высокочастотная цепочка R2 & C3 дает частоту среза 0.3 Гц [8 – 10].

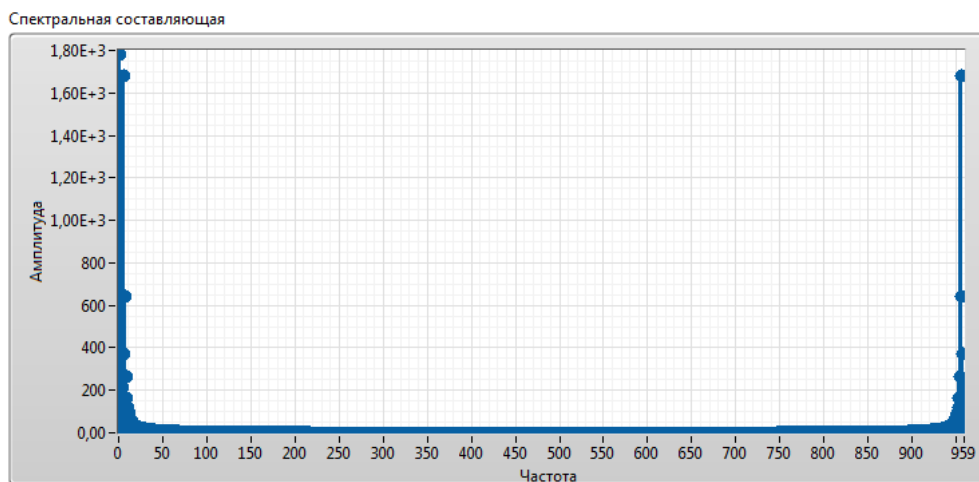


Рисунок 2 – Спектральная составляющая сигнала

Аналоговый тракт позволил уменьшить дрейф нуля и убрать часть высокочастотных гармоник. С целью более эффективного комплексирования данных поступающих с гироскопа и акселерометра за счет встроенного АЦП МК нам удалось увеличить частоту дискретизации с 60 до 400 выб./с.

Комбинирование (комплексирование) показаний МЭМС-датчиков позволило устранить их существенные недостатки. Для гироскопа это – дрейф нуля и ошибки интегрирования, а для акселерометра – слишком большая чувствительность к вибрациям и другим внешним силовым воздействиям. Выполнить подобное комплексирование позволило применение комплементарного фильтра, работа которого описывается достаточно простым выражением:

$$\alpha = (1 - k) \cdot gir + k \cdot acc ,$$

где α – отфильтрованный результирующий угол наклона;
 gir и acc – значения угла наклона, полученные при помощи гироскопа и акселерометра, соответственно;
 k – коэффициент комплексирования комплементарного фильтра.

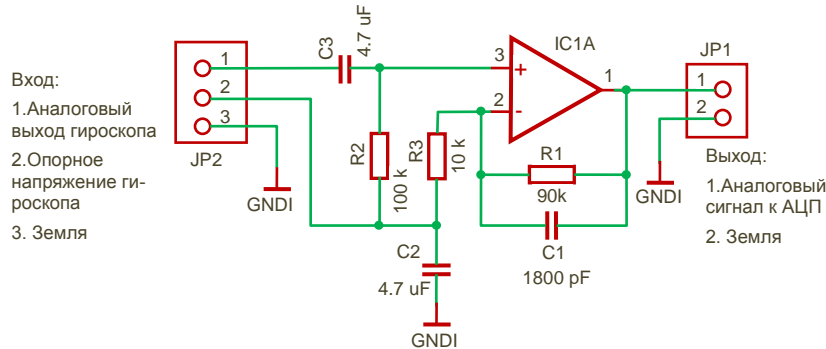


Рисунок 3 – Переработанный аналоговый тракт АЦП

Программная часть комплекса разрабатывалась с использованием САПР «LabVIEW – 2014». В этой системе была смоделирована логика работы фильтров, системы сбора данных, а также целиком весь алгоритм идентификации текущей работы, визуализации и хранения полученных данных. На рисунке 4 показан интерфейс программы работы комплекса.

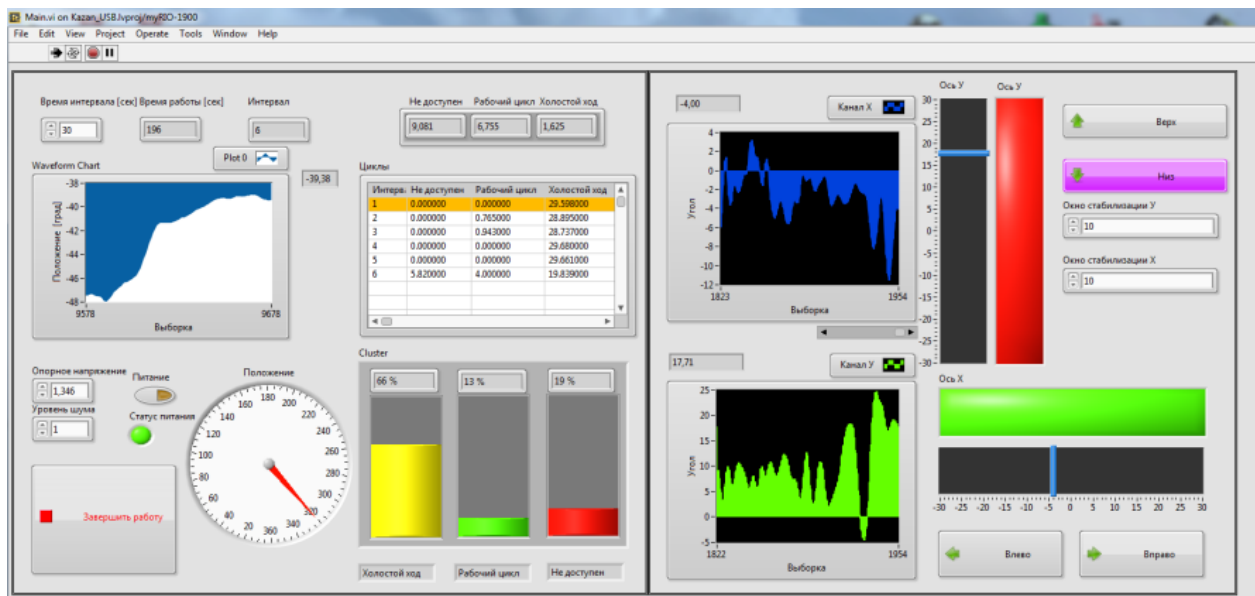


Рисунок 4 – Интерфейс программы работы комплекса

На экране монитора, в левой его половине, показана краткая история последних перемещений и отградуированный круговой индикатор, отображающий угловое положение кабины машиниста экскаватора вокруг вертикальной оси z , а также таблица с рабочими циклами и текущий временной интервал работы. В правой половине расположены отградуированные шкалы с бегунками, отображающие наклон платформы экскаватора вокруг осей x и y правой декартовой системы координат (ось y направлена вдоль продольной оси экскаватора к его рабочему органу). Положение бегунка по шкале позволяет оценивать текущее отклонение платформы от горизонтальности, а индикатор со сменой цвета с зелёного на

красный предупреждает об опасности в случае выхода за пределы допустимых углов её наклона.

Промышленные испытания аппаратно-программного комплекса проводились на шагающем экскаваторе ЭШ 11/70 в условиях разреза «Виноградовский». Комплекс был установлен в кабине машиниста экскаватора и перед закреплением был сориентирован по осям x , y и z . Данные в непрерывном режиме по беспроводному каналу связи передавались на сервер в течение рабочей смены. Анализ полученных данных показал высокую зашумленность полезного сигнала из-за высокого уровня вибраций.

На рисунке 5 приведён фрагмент данных по углам наклона платформы вокруг осей x и y до- и после их обработки цифровым фильтром Баттерворта с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) 5-го порядка [11], [12]. По оси абсцисс показано время в секундах, а по оси ординат – угол наклона платформы. Выбор БИХ фильтра обусловлен невысокими требованиями к мощности вычислительного узла, в данном случае – микроконтроллера (МК). Разработанная программа БИХ фильтра требует меньшего количества операции умножения с накоплением, что очень актуально в условиях низкой вычислительной мощности отечественных микроконтроллеров для цифровой обработки сигналов.

Была апробирована возможность применения специализированного цифрового сигнального микроконтроллера dsPIC для обработки поступающего аналогового и цифрового сигнала. Был произведен ряд тестов на производительность (умножение, умножение с накоплением, дробное умножение, вычитание, деление, сложение) ядра с использованием специализированных ассемблерных команд [13, 14]. Тесты показали, что «учебный» алгоритм дискретного БИХ фильтра при тактовой частоте 7,37 МГц написанный на языке среднего уровня C (без специализированных команд) при частоте дискретизации 100 Гц выполняется за ~ 5 мс.

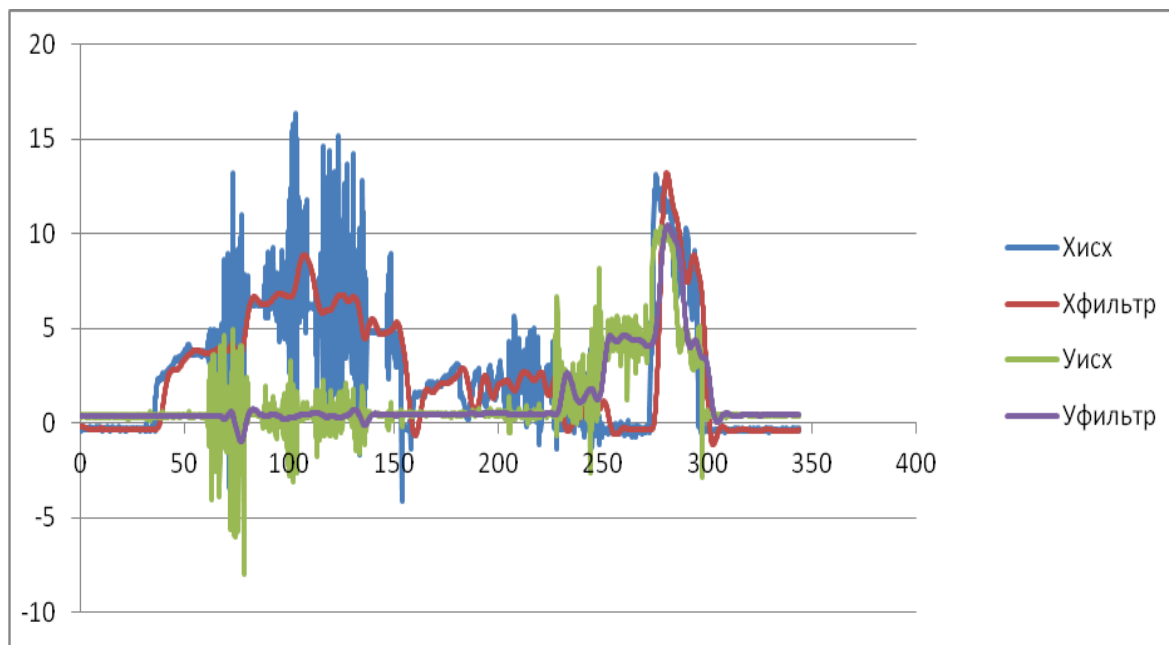


Рисунок 5 – Фрагмент данных углов наклона платформы экскаватора

Также достоинством БИХ фильтров является большее быстродействие и меньший объем необходимой памяти, обусловленные меньшим числом коэффициентов, а недостатком – нелинейность фазовой характеристики.

Частотная характеристика используемого фильтра Баттерворта характеризуется гладкостью на всех частотах и монотонностью спада, начинающейся с некоторой частоты среза (рисунок 6, а).

Фильтр Баттерворта имеет максимально плоскую характеристику в полосе пропус-

кания и ноль в полосе заграждения. При фиксированной частоте среза крутизна характеристики зависит от порядка фильтра (рисунок 6, б).

В заключение отметим:

1. Получена передаточная функция фильтра для цифровой обработки сигналов, позволяющая нивелировать воздействие вибраций. Фильтр опробован на натурном сигнале и доказал свою эффективность. Усовершенствованный аналоговый тракт в составе АЦП угловой скорости позволил уменьшить дрейф нуля.

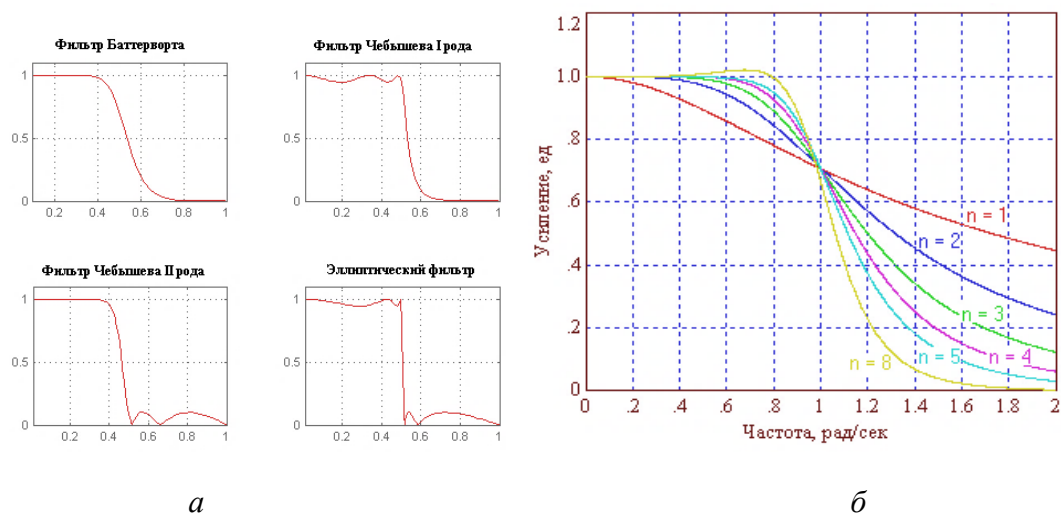


Рисунок 6 – Сравнительные амплитудно-частотные характеристики различных БИХ фильтров (а) и частотные характеристики фильтра Баттерворта различного порядка (б)

2. Апробация аппаратно-программного комплекса в лабораторных и реальных производственных условиях подтверждают возможность его применения для дистанционного мониторинга горизонтальности платформы и автоматизированного учёта рабочих циклов шагающих экскаваторов на угольных разрезах Кузбасса.

Библиографический список

1. Анистратов, Ю. И. Справочник по открытым горным работам / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов, М.И. Щадов. – М.: НТЦ «Горное дело», 2010. – 700 с.
2. Добронравов, С. С. Строительные машины и основы автоматизации: Учеб. для строит. Вузов / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. – М.: Высш. шк. 2003. – 575 с.
3. Мещеряков, Я. Е. Мониторинг точности позиционирования основных функциональных узлов технологических машин // Актуальные проблемы современного машиностроения: сб. трудов Международной конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.– С. 38-42.
4. Мещеряков, Я. Е. Автоматизированный мониторинг работы экскаватора в условиях угольного разреза // Вестник КузГТУ, 2015, №4.– С. 121-125.
5. Бромберг, П. В. Теория инерциальных систем навигации. – М.: Наука, 1979.– 296 с.
6. Salychev, O. S. Applied inertial navigation: problems and solutions. – М.: BMSTU Press, 2004. – 304 p.
7. Салычев, О. С. Волновое описание возмущений в задачах оценки ошибок инерциальных систем навигации. – М.: Машиностроение, 1992. – 216 с.
8. Рюмик, С. М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Книга 1/ С.М. Рюмик. – 2-е изд. Стер. – М.: Додека-XXI, 2012 г. – 356 с.
9. Лэм, Гарри. Аналоговые и цифровые фильтры: Пер. с англ.: М.: «Мир», 1982. –592с.
10. Картер, Брюс. Операционные усилители для всех / Брюс Картер и Рон Манчини; пер. с англ. А.Н. Рабодзея. – М.: Додэка-XXI, 2011. – 544 с.
11. Рабинер, Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов /Лоуренс Рабинер

- и Бернард Голд: Пер. с англ.: М.: «Мир», 1978. – 848 с.
12. Лайонс, Ричард Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. – 656 с.
 13. Магда, Ю. С. Микроконтроллеры PIC24 архитектура и программирование \ Ю.С. Магда. – М.: ДОДЕКА-XXI, 2009. – 240 с.
 14. Ди Джасио, Л. Программирование на C микроконтроллеров PIC24: Пер. с англ. – Киев: «МК–Пресс», С-Пб.: «Корона – век» 2014. – 336 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ

Чекрыжова Л.В.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия*

Перед предприятиями, производящими сложную наукоемкую продукцию, в частности перед машиностроительными предприятиями, в условиях жесткой конкуренции остро стоит проблема повышения эффективности процессов проектирования и производства изделий, повышения их качества. Для решения этой проблемы широкое распространение получили системы автоматизации этих процессов. В настоящее время существует множество систем эффективно решающих задачи автоматизации, относящиеся к конкретному этапу жизненного цикла изделия. Информация, используемая в этих системах, является разноплановой, разнородной, хранящейся в электронном виде, на бумажных носителях и даже в памяти сотрудников. Поэтому очевидна проблема взаимодействия таких систем, обмена данными между ними. Кроме того, задачи, относящиеся к различным этапам жизненного цикла изделия, зачастую решаются на разных предприятиях, что еще более усугубляет проблему взаимодействия систем. По данным International Data Corporation и журнала Document Management, в мире в электронной форме представлено около 1,5 млрд чертежей, и их количество существенно увеличивается за счет сканирования и векторизации уже имеющихся 6,5 млрд чертежей, хранящихся на бумажных носителях [1] Кроме того, по экспертным оценкам, при модификации старых и проектировании новых изделий и механизмов 80 % узлов и деталей не претерпевают существенных изменений в конфигурации [2] по сравнению с изделиями-прототипами. В этой связи одним из важнейших функциональных средств современных конструкторских САПР является инструментарий, обеспечивающий эффективное внесение изменений в файлы описаний существующих чертежей, т.е. их редактирование и модификацию.

Под редактированием понимается возможность изменения параметров одного или нескольких однотипных графических примитивов, а под модификацией – изменение ряда различных или даже всех имеющихся примитивов, составляющих изображение или чертеж. Возможность автоматизированного редактирования и модификации чертежей наиболее эффективно решается с использованием параметрических моделей, т.е. описаний, включающих совокупности варьируемых параметров. Параметрические модели позволяют существенно ускорить процесс проектирования и производства новых изделий, так как обеспечивают однозначную двухстороннюю связь процессов проектирования, инженерных математических расчетов, технологической подготовки производства и средств изготовления этих спроектированных деталей и сборочных конструкций. При условии существования такого описания модификация сводится к заданию нового набора параметров, а все рутинные операции по изменению отдельных примитивов и построению нового чертежа выполняются автоматически.

Чертежи, по сути, являются не только графическими моделями реальных объектов, но и содержат о них дополнительную параметрическую и технологическую информацию.

Когда конструктор осуществляет построение чертежа при помощи интерактивных графических средств, то одновременно с созданием изображения система формирует внутреннее описание элементов, составляющих чертеж. Это описание можно рассматривать в качестве модели чертежа. Изображение, построенное по этой модели, представляет собой изображение чертежа. Выделение в чертеже или в модели конкретного элемента или подмножества элементов осуществляется при помощи независимых величин или геометрических параметров элементов. На чертежах в качестве таких независимых величин — параметров используются значения различных размерных обозначений (линейных, радиальных, диаметральных или угловых).

Идея создания параметрической модели конструкторского чертежа заключается в том, чтобы определить абсолютно все элементы изображения чертежа через множество размерных обозначений, проставленных на чертеже. Тогда, имея такую параметрическую модель, легко получить чертеж видоизмененного объекта путем его перерисовки в соответствии с задаваемым набором новых значений размеров. Очевидно, что автоматическое построение параметрической модели произвольного чертежа является сложной задачей.

Её решение связано преодолением следующих трудностей:

1. Большое разнообразие графических элементов, составляющих чертеж, множество способов и произвольность порядка построения элементов.

2. Задание геометрических параметров графических элементов в различных координатных системах.

3. Неявность задания геометрических параметров большинства графических примитивов, в том числе использование многовидовых чертежей с распределением по отдельным видам обозначений, задающих форму объекта.

4. Возможное изменение состава графических примитивов, образующих чертеж, при значительных изменениях параметров.

В данное время для создания параметрических моделей графических изображений используют три подхода – программный, интерактивный, аналитико-синтетическое формирование параметрической модели чертежа.

Программный подход предполагает получение описания модели в терминах процедур пакетов графического расширения, которые в виде библиотек входят в языки высокого уровня. Плюсами этого подхода можно отметить, что при создании модели и формировании на ее основе изображений с новыми размерами не требуется создавать специальные системы трансляции или интерпретации описаний, а может быть использовано общесистемное программное обеспечение. Однако для каждого класса (группы) объектов необходимо разрабатывать специальную отдельную программу. Процесс этот длительный и трудоемкий.

В интерактивном подходе параметрическая модель может выполняться в процессе человеко-машинного построения объекта проектировщиком (параллельная параметризация), либо на основе ранее сформированного графического изображения объекта (последующая параметризация) в требуемый момент времени.

В первом случае процессы формирования изображения и модели едины, и создать параметрическую модель проще, так как она строится автоматизированной системой одновременно (параллельно) с прорисовкой изображения. Такой метод называют также методом внутренней параметризации, так как от конструктора, при создании модели, не требуется никаких дополнительных действий. Система сама фиксирует информацию о способах формирования всех графических примитивов изображения и связей между ними в своих структурах данных.

При втором варианте в графическом файле описания изображения или чертежа детали в явном виде представлены только данные о графических примитивах, составляющих изображение, и нет явной информации о способах их формирования и взаимных связях. В процессе формирования конструктором чертежа детали и размещении на нём размерных обозначений происходит «экономия» количества проставленных размерных обозначений на графических примитивах, которая достигается за счет повторяемости элементов, совпаде-

ния у различных примитивов точек и координат, условий параллельности, перпендикулярности и касания отдельных примитивов, за счет постоянства толщины, симметричности, условий связи основных и дополнительных видов и т. п. «Экономия» размерных обозначений приводит к тому, что большинство графических примитивов чертежа в файле его описания не имеют явной связи с имеющимися на чертеже размерами. Они не могут быть непосредственно изменены в соответствии с изменением значений размерных обозначений, т. е. непосредственная параметрическая связь отсутствует. Поэтому для параметризации такого электронного описания чертежа требуется доопределять его тем или иным образом. Например, при использовании метода параметризации с доопределением параметров приходится устанавливать дополнительные размеры на ряд графических примитивов чертежа. Достоинством метода параллельной параметризации является высокая степень автоматизации формирования модели, основным недостатком - невозможность применять его для параметризации созданных изображений (чертежей), которые представляются в общепринятых электронных форматах описания (GKS, DXF, IGES и т. п.). В этих случаях можно использовать системы, основанные на методе доопределения размерной сети (метод последующей параметризации). Метод доопределения описаний чертежей путем внесения в них дополнительных размерных обозначений, который широко использовался еще совсем недавно, достаточно прост в реализации. Однако его главный недостаток заключается в относительно большом количестве требуемых дополнительных размеров, что существенно усложняет работу конструктора для получения параметрических описаний.

Метод аналитико-синтетического формирования параметрической модели чертежа [3] (так называемый МАС-параметризации), который можно отнести к полностью автоматическим методам последующей параметризации, не требует прорисовки дополнительных размеров и не предполагает фиксации способа формирования каждого графического примитива при первоначальном создании чертежа, а базируется на анализе имеющегося электронного файла описания чертежа. Он основывается на том, что:

- совокупность всех размерных обозначений, проставленных в чертеже, полностью определяет конфигурацию изображенного на нем объекта и позволяет по этому чертежу изготовить деталь строго определенной формы, так как чертеж является графическим параметрическим описанием изображенной на нем детали или сборочной конструкции;

- в файле описания чертежа содержится вся информация, необходимая для автоматического построения его твердой копии (прорисовки документа типа чертеж);

- путем анализа всех примитивов изображения и их взаимного расположения можно установить параметры каждого графического примитива в зависимости от используемых в этом чертеже размерных обозначений и их конкретных значений, т.е. получить их параметрическое описание, которое способна воспринять и обработать.

ЭВМ. Эта возможность базируется на том, что чертеж сам является графическим параметрическим описанием, понятным человеку, но в исходном виде не воспринимаемым ЭВМ [4]. Таким образом, метод аналитико-синтетической параметризации обеспечивает автоматическое преобразование одной формы параметрического представления (графического, воспринимаемого человеком) в форму представления, которую «понимает» ЭВМ. Следует отметить, что если описание файла чертежа не отвечает отмеченным условиям и по такому чертежу невозможно изготовить конкретную деталь, то такой чертеж следует считать незавершенным, и процесс его параметризации теряет смысл.

На основе файла чертежа графического описания должен быть проведен анализ этого описания и осуществлено:

- разделение (сортировка) всех графических примитивов, составляющих полное описание чертежа;

- создание опорной сети чертежа;

- создание угловой сети чертежа;

- установление количественных отношений;

- связи между элементами всех созданных сетей через размерные параметры, уста-

новленные на чертеже. Параметрическая модель чертежа есть не что иное, как установленные количественные соотношения между всеми элементами каждой из опорных сетей – горизонтальной, вертикальной и угловой – через размерные обозначения, поставленные на чертеже, и постоянные коэффициенты, определяемые требованиями ЕСКД на оформление.

Приведенный анализ позволяет сказать, что задача автоматической параметризации конструкторских чертежей остается актуальной и что даже частичное решение этой задачи и включение подсистемы параметризации в состав САПР может дать заметный выигрыш во времени при разработке и модификации различных изделий.

Библиографический список

1. Макачев А. Сканеры для САПР и ГИС // Электронный офис (газета для специалистов по автоматизации управления). Декабрь 1996. С. 10–11. [http:// www.vest.msk.ru/eo](http://www.vest.msk.ru/eo)
2. Шпур Г., Краузе Ф.-А. Автоматизация проектирования в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1988. "САПР" (Приложение к "Компьютер-ИНФО" № 22 (164) 25 июня 1999 года).
3. Лячек Ю. Т., Нахимовский Я. А., Павлов С. Н. Аналитико-синтетический метод формирования параметрических моделей конструкторских чертежей // Тр. 5-й Междунар. конф. «Графикон-95», Санкт-Петербург, 3–7 июля 1995 г. / Гос. ин-т пов.квал. Минатома РФ. СПб., 1995. Т. 1. С. 71–78.
4. Аль-шайх Хасан, Ю.Т. Лячек. Параметризация и модификация электронных конструкторских чертежей:// Сб. материалов Всероссийской научно-практич. конф. с межд. участием. 2010 г. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет: в 2 частях – ч.1, с.37-41.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РЕЗЕРВНОГО КОПИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ MICROSOFT SQL SERVER ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НОВОКУЗНЕЦКА

Милованов М.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В настоящее время для современных информационно-управляющих систем очень важно надежно и эффективно сохранять накопленные данные. Бурное развитие информационных технологий, повсеместное использование баз данных заставляет задумываться о хранении и резервном копировании больших объемов данных. Высокие требования к скорости восстановления данных предполагают правильную организацию резервного копирования и хранения данных.

В связи с интеграцией всех IT-процессов выполняемых в Комитете социальной защиты г. Новокузнецка в единое информационное пространство, на базе управления социальной защиты г. Новокузнецка Куйбышевского района была внедрена автоматизированная система «Адресная социальная помощь» (АСП Тула). Для данного программного обеспечения был выделен отдельный восьмиядерный сервер под управлением операционной системы Windows Server 2003 (рисунок 1). Программа работает на платформе .NET в связке с Microsoft SQL Server 2008. Ежедневно в программу заносится большой объем данных. В системе работают более 50 пользователей. В функции программного обеспечения входит расчет и начисление льгот, выплат населению по различным видам услуг – выплаты ЖКХ, социальных пособия и т.д. Ежемесячно выплаты рассчитываются по всем объектам программы – дома, люди и т.д.

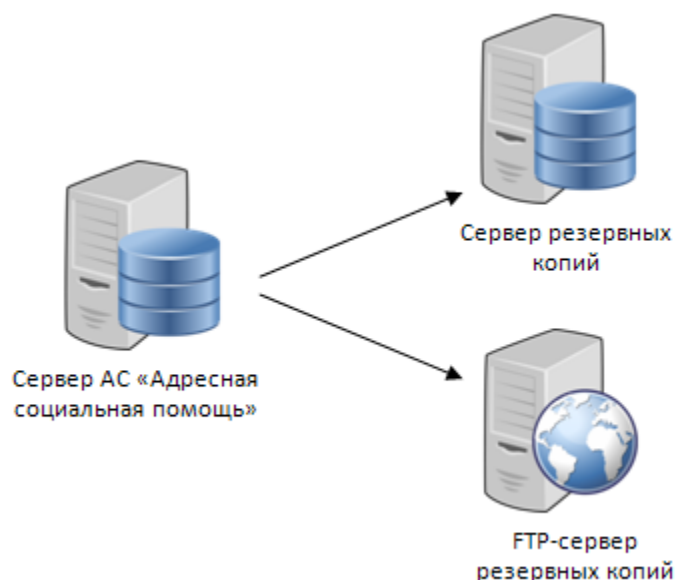


Рисунок 1 – Схема серверов управления социальной защиты г. Новокузнецка

Исходя из задач, довольно часто приходится обращаться к данным, которые уже были изменены для перерасчета денежных средств населению, например в случае изменения тарифных сеток. В этом случае просто необходимо иметь резервные копии базы данных. Для этих нужд выделен отдельный сервер для хранения резервных копий. Сам объем базы данных составляет около 15 Гб. Поэтому для поддержания базы данных в актуальном состоянии и минимизации занимаемого пространства на жестком диске были предприняты меры ежедневного резервного копирования и архивации данных.

Для этих целей было решено использовать механизм от компании Microsoft – Windows PowerShell. PowerShell – это оболочка командной строки на основе задач, а также язык сценариев, предназначенный специально для системного администрирования. Созданная на основе .NET Framework, служба Windows PowerShell помогает ИТ-специалистам и опытным пользователям в управлении и автоматизации администрирования операционной системы Windows, а также приложений, работающих под управлением Windows [1].

Для решения задачи резервного копирования баз данных Управления социальной защиты города Новокузнецка разработана методика создания и хранения файлов резервных копий. Основу методики составляет следующий алгоритм [2] (рисунок 2):

- Запуск агента администрирования MS SQL и создание резервной bak-копии базы данных.

- Запуск PowerShell сценария.
- Архивация всех резервных копий базы данных.
- Копирование данных на сервер резервных копий.
- Копирование резервной копии базы данных на FTP сервер.
- Удаление с текущего сервера файлов резервных копий и архивов.

Важно отметить следующую особенность исполнения скрипта. Сам PowerShell-скрипт устроен таким образом, что запуск внешних процессов из него не требует их завершения. Т.е. программа не будет ждать окончания работы архивации и перейдет к следующему этапу. Поэтому для решения этой задачи использован метод класса Process - Wait-ForExit().

Таким образом, после этапа создания резервной копии происходит запрос на получение всех резервных копий с помощью конструкции:

```
$files = Get-ChildItem *.bak -name | sort CreationTime.
```

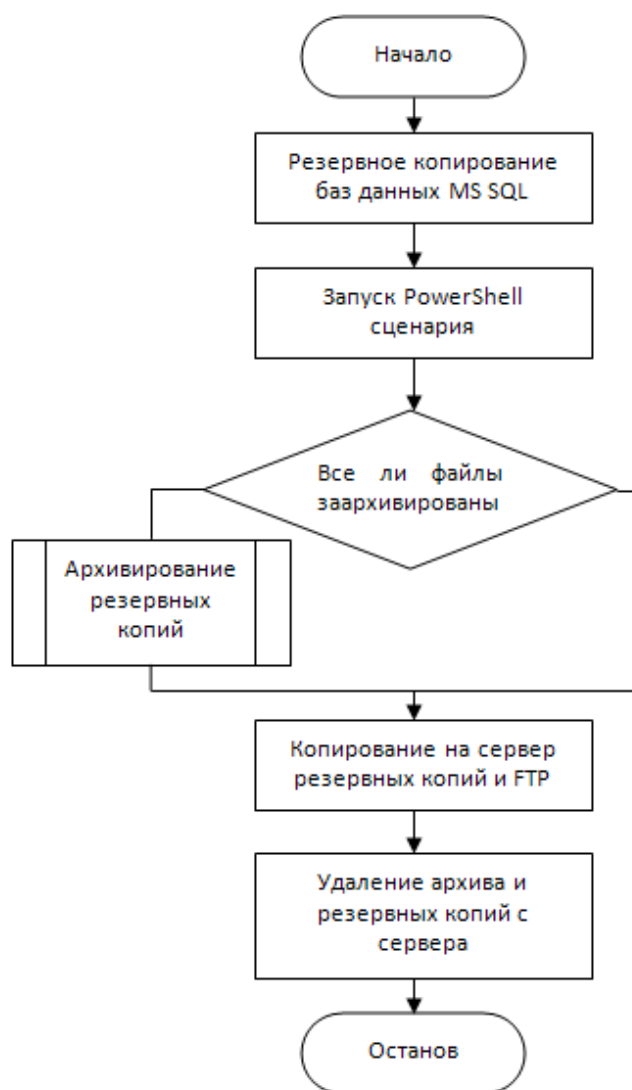


Рисунок 2 – Схема создания резервной копии

После получения списка файлов происходит формирование строки аргументов для архиватора и вызов метода `WaitForExit()` класса `Process`:

```

foreach ($file in $files) {$arg = "a " + $rarDir + $file + ".rar " + $file
[diagnostics.process]::start("rar.exe", $arg).WaitForExit()}
  
```

Выводы. Предложенный способ резервного копирования использует только лишь средства NET и PowerShell, что позволяет быть уверенным в надежности его работы. Разработанная методика хранения файлов резервных копий показала свою надежность. При технических сбоях в системе электропитания, выходе из строя сервера и др., работоспособное состояние приложения восстанавливается в течение часа на любом компьютере имеющем соответствующую конфигурацию. Механизм создания резервных копий и их архивации был протестирован на платформах Windows 7, 2003 Server, 2008 Server.

Библиографический список

1. Работа со сценариями в Windows PowerShell. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://technet.microsoft.com/ru-ru/library/bb978526.aspx>
2. Милованов М.М. Информационные технологии. Электронный учебно-методический комплекс / Электрон. дан.-Новокузнецк: СибГИУ, 2014.:ил.-1 электронный DVD диск (DVD-ROM); № гос. регистрации 0321400939.

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОДБОРА ЗАГОТОВОК В КАРТАХ

Веревкин В.И., Веревкин С.В.

*Калининградский государственный технический университет,
Балтийский федеральный университет им. Э. Канта,
г. Калининград, Россия*

Наиболее разрушительная электрохимическая коррозия металлоконструкций наиболее активно проявляется в сварных соединениях. Скорость коррозии в них может на порядок превосходить скорость коррозии в других местах. Причем электрохимическая коррозия сопровождается обязательным возникновением электрического тока. В числе важнейших причин этого явления – возникновение термоэлектродвижущих сил (ТЭДС) в каждой термопаре, образованной двумя заготовками (например, стальными листами), сваренными между собой. Так температура морской воды обычно отличается от температуры внутри судна, что способствует возникновению термопар.

Целью работы является разработка технического инструментария для проведения рационального подбора заготовок в полотнища с тем, чтобы обеспечить их защиту от электрохимической. Основным методом достижения поставленной цели принято снижение условий для возникновения ТЭДС в сварных соединениях полотнищ. Главное направление – сближение химических составов электродов термопар, т.е., подбор соседних заготовок полотнищ таким образом, чтобы в целом по всему полотнищу не допустить возникновения опасных ТЭДС.

Разработано устройство для проведения потенциометрического анализа путем измерения термоэлектродвижущих сил в контакте двух заготовок (рисунок 1).

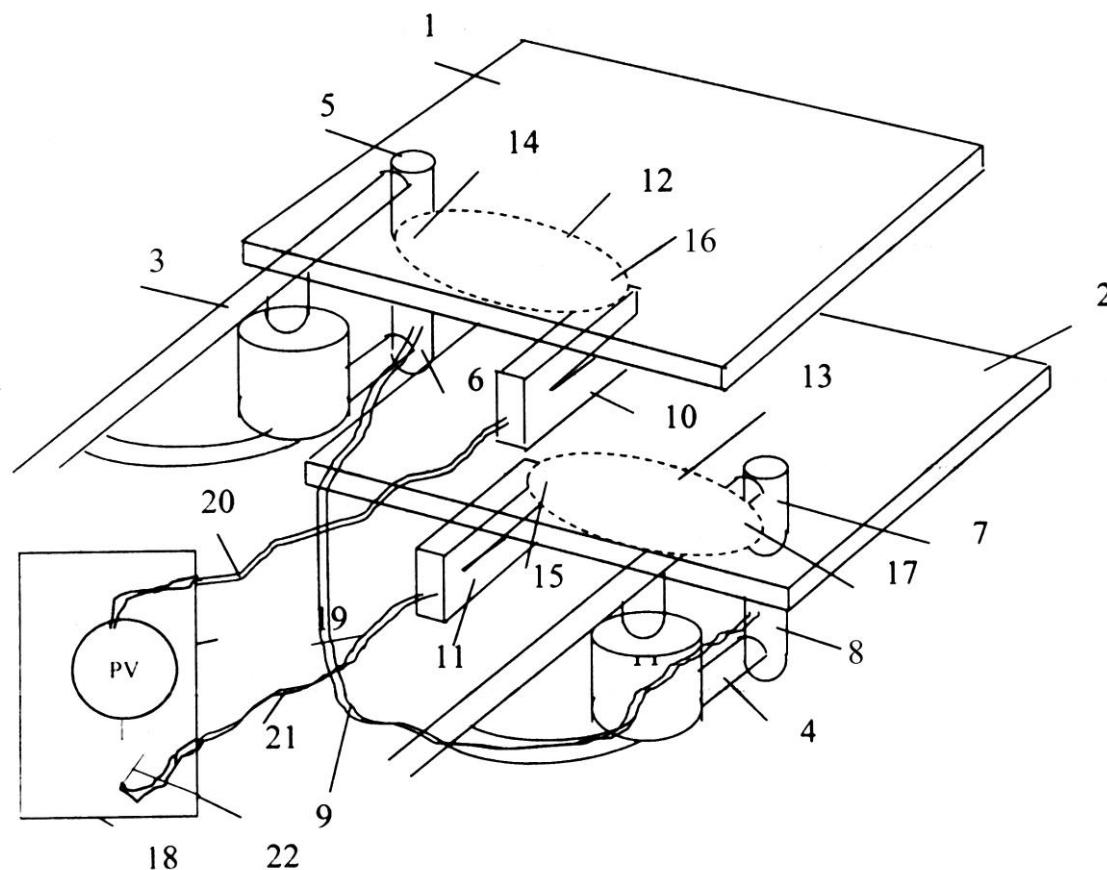
Основная идея устройства состоит в том, что рабочий спай практически любой термопары можно разделить на два связанных между собой соединительной высокоэлектропроводной перемычкой рабочих спаев. При этом важно: при каких температурах находятся оба рабочих спаев. Наличие соединительной перемычки и её температура, как показали наши опыты, на ТЭДС термопары практически не сказывается. Так например, перемычка может находиться при 20 °С, а один или оба рабочих спаев при 1000 °С. Тогда результаты измерения ТЭДС термопары с одним общим рабочим концом и двумя соединенными перемычкой рабочими концами совпадут. Выявленное нами свойство термопар было заложено в конструкцию устройства для измерения ТЭДС в контакте двух заготовок.

Один электрод термопары в устройстве расположен на одной заготовке, а другой – на второй заготовке. Каждый электрод термопары имеет рабочий и свободный концы. Каждый рабочий конец электродов термопары нагревается своим нагревателем. Оба нагревателя идентичны. При одинаковой толщине и материале заготовок их настройки совпадают. При разной толщине заготовок настройки выбирают, например, по методике [1, стр. 30 – 31]. При правильной настройке температуры обоих рабочих концов термопары совпадают. Перемычка имеет длину, достаточную для осуществления связи рабочих концов термопары на расположенных в непосредственной близости измеряемых заготовках. Температура перемычки соответствует температуре окружающей среды.

Второй конструктивной особенностью устройства является то, что используемая для измерения ТЭДС термопара является дифференциальной: значения ТЭДС зависят от разности физико-химических свойств заготовок. Это позволило измерять максимальное значение ТЭДС, возникающей в контакте этих двух заготовок. При непосредственном же контакте материалов заготовок в самом сварном шве корпуса судна будет происходить некоторое снижение ТЭДС за счёт внутренних шунтирующих потерь через сварной шов до напряжения термопары.

Поскольку подавляющее большинство физико-химических свойств заготовок будет

совпадать, то абсолютное значение физико-химических показателей заготовок на результат измерения влияния не оказывает. В ТЭДС проявятся только отличия, не совпадения этих свойств, приводящие к появлению эффекта Зеебека.



- 1, 2 – заготовки; 3, 4 – первые и вторые клещи для двухсторонней точечной контактной сварки; 5, 6 – верхние и нижние электроды первых клещей 3; 7, 8 – верхние и нижние электроды вторых клещей 4 (соответственно); 9 – перемычка между нижними электродами обеих клещей; 10, 11 – крокодилы; 12, 13 – электроды образованной термопары; 14, 17 – рабочие спаи термопары (14 – расположен на одной, а 17 – на другой заготовке); 16, 15 – свободные концы термопары; 18 – корпус; 19 – регистратор; 20, 21 – коммутирующие провода; 22 – выключатель

Рисунок 1 – Устройство для измерения ТЭДС в контакте двух заготовок

Разработанный технический инструментарий рационального подбора заготовок в картах предназначены для использования, прежде всего, при изготовлении или ремонте сварной металлоконструкции из близких по физико-химическим свойствам и толщинам заготовок, поскольку при изготовлении или ремонте сварной металлоконструкции требуется расположить заготовки так, чтобы минимизировать ТЭДС в контактах этих заготовок. Для реализации способа предварительно необходимо произвести необходимые измерения значений ТЭДС во всех возможных сочетаниях заготовок с помощью предлагаемого устройства для реализации способа.

Применение способа к заготовкам из близких по физико-химическим свойствам и толщинам заготовок означает, что при изготовлении или ремонте сварной металлоконструкции используются заготовки из одинаковых марок стали или сплава, перед измерениями заготовки подвергались одним и тем же химическим и механическим обработкам, выдерживали одни и те же сроки и условия хранения. Различие толщин заготовок не превышало 50 %.

Эти условия обеспечили простоту и высокую точность настроек нагревателей – клещей для односторонней точечной контактной сварки. Такие настройки обеспечивают одинаковый нагрев обоих рабочих спаев термопары. При близости физико-химических свойств и толщин заготовок отличия настроек оказываются пренебрежительно малыми. Это даёт возможность использовать при измерениях одинаковые настройки для обеих клещей. В то же время, при необходимости способ и устройство для его реализации можно использовать и для различных физико-химических свойств и толщин заготовок. Однако при этом требуется более сложная настройка режимов нагрева, которая в условиях разных по свойствам и размерам заготовок обеспечит равенство температур рабочих спаев термопары [1, стр. 30 – 32].

В качестве нагревателя могут использоваться, например, широко распространенные клещи сварочные подвесные марки ТЕСНА7913. Привод клещей – пневматический. Тип охлаждения – водяное.

Подвесная часть включает блок электродов, состоящий из водоохлаждаемых электродов, выполненных из бронзы, электрододержателей и консолей, пневмопривод электродов с системой механической передачи усилия от исполнительного цилиндра (пневмоцилиндра) и электропневмоклапаном для управления подачей сжатого воздуха в исполнительный цилиндр. Там же находится кнопка управления.

Клещи снабжены встроенным электронным таймером, управляющим циклом точечной контактной сварки (2 – 65 циклов), и полупроводниковым контактором для включения, выключения и регулирования сварочного тока. Отключение таймера компенсационной цепью происходит только при достижении необходимой величины проходящего тока.

Электроды используемых клещей в устройстве для реализации способа имеют двойное назначение:

1) используются для нагревания заготовки. Для этого они, во-первых, передают усилие на заготовку, надёжно сжимая её и обеспечивая надёжный контакт электродов с заготовкой. Во-вторых, они проводят электрический ток через обжатую заготовку, нагревая её в области, расположенную между электродами и вокруг неё;

2) после окончания операции нагрева и прекращения подачи тока, но в условиях сохраняющегося давления электродов на заготовку, нижние электроды используются в качестве контактного устройства, обеспечивающего соединение двух рабочих спаев термопары.

Для выполнения второй функции важно, что электроды клещей изготавливают из бронзы, то есть, обладают высокой электропроводностью. Это требуется для снижения погрешности измерения в условиях очень небольшого собственного сопротивления самих электродов термопары.

В качестве регистратора устройства может использоваться, например милливольтметр марки Ш-4541.

Согласно предлагаемой технологии поверхности отобранных заготовок зачищают, и перед разметкой заготовки располагают в непосредственной близости друг от друга. Например, укладывают заготовки в стопки с последовательным поворотом очередной заготовки на угол 30 градусов. Такое расположение заготовок даёт доступ сварочным клещам к обеим сторонам каждой заготовки.

С помощью устройства для измерения ТЭДС в контакте двух заготовок последовательно измеряют максимальные значения ТЭДС, создаваемых в термопарах, образованных в контактах всех допустимых в сварной металлоконструкции сочетаний заготовок. Причём в ходе каждого акта измерений температуру обоих рабочих спаев термопары, образованной в контакте двух заготовок, уравнивают за счет предварительных настроек используемых для нагрева заготовок клещей для двухсторонней точечной контактной сварки.

На блоках управления обоими клещами выставляют одинаковые настройки. По команде одновременно включают кнопки «Запуск» обеих клещей. Вначале отсчитывается время сжатия $\tau_{сж}$, после чего следует операция сварка (нагрев). Протекание тока нагрева сопровождается характерным, легко различимым гудением места нагрева заготовки под

действием переменного тока большой силы. Длительность операции сварки (нагрева) сварочными клещами мала, и лежит в пределах 0,1 – 0,5 с. После ее завершения выключателем на 2 – 3 с включают измерительную цепь. Фиксируют величину напряжения на регистраторе, приближающегося к максимальному значению ТЭДС термопары, образованной контактом выбранных двух заготовок.

Для снижения систематической ошибки измерения описанный опыт по измерению максимальных ТЭДС термопары в контакте данных заготовок повторяется не менее трёх раз и результаты опытов усредняются.

Затем опыты повторяются во всех термопарах, образованных в контактах всех допустимых в сварной металлоконструкции сочетаний заготовок. То есть, опыты проводятся во всех оставшихся сочетаниях заготовок.

Далее известными регулярными или случайными процедурами находят наилучшее распределение заготовок в сварной металлоконструкции так, чтобы, во-первых, в среднем по всем фактически образованным контактам листов в металлоконструкции минимизировались максимальные по модулю значения создаваемых ТЭДС, во-вторых, не превышались предельно допустимые значения ТЭДС в размере 5 – 8 мВ (где нижний предел используют при повышенных сроках эксплуатации судна, верхний – для рядовых условий) в фактическом контакте хотя бы одной пары заготовок. В качестве процедур определения наилучшего распределения заготовок применяют известные методы упорядочения: линейного и динамического программирования, доминирования, ветвей и границ и др.

Если условия не выполняются, то есть в процессе поиска решения второе условие по всем парам заготовок выполнить не удастся, то заготовки с недопустимо большими ТЭДС в контакте со всеми другими заготовками заменяются на новые и замеряются максимальные ТЭДС заменяющих заготовок со всеми другими заготовками, процесс повторяется вплоть до удовлетворения всех отобранных заготовок обоим условиям. После чего выполняют оставшиеся заготовительные, сборочно-сварочные и антикоррозийные операции.

Поскольку рабочий спай термопары после отключения тока нагрева начинает быстро охлаждаться, то фактическая температура рабочего спаивания в момент измерения $T_{нф} < T_n$. В течение операции измерения эта температура также не остаётся постоянной. Как показали наши исследования, к концу процесса измерения, $T_{нф} \approx (0,1-0,2) T_n$. Однако этого вполне достаточно для обеспечения технического результата предлагаемого способа. При $T_n = (1000 - 1200 \text{ } ^\circ\text{C})$ максимальная замеряемая ТЭДС пар заготовок из низкоуглеродистой и низколегированной стали достигает значений 10 – 15 мВ. Ограничение по величине максимальной по модулю допустимой ТЭДС равно 5 – 8 мВ. Превышение этих значений ведёт к недопустимому возрастанию токов в морской воде вблизи сварного соединения этих заготовок. Нижнее значение максимально допустимого по модулю значения ТЭДС устанавливают при повышенных сроках эксплуатации судна, верхние – для рядовых условий.

Для этого при изготовлении или ремонте сварной металлоконструкции из близких по физико-химическим свойствам и толщинам заготовок, перед разметкой заготовки располагают в непосредственной близости друг от друга, с помощью устройства для измерения термоэлектродвижущих сил в контакте двух заготовок последовательно измеряют максимальные значения термоэлектродвижущих сил, создаваемых в термопарах, образованных в контактах всех допустимых в сварной металлоконструкции сочетаний заготовок. В ходе каждого акта измерений температуру обоих рабочих спаев термопары, образованной в контакте двух заготовок, уравнивают за счет предварительных настроек используемых для нагрева заготовок клещей для двухсторонней точечной контактной сварки.

Затем известными регулярными или случайными процедурами находят наилучшее распределение заготовок в сварной металлоконструкции так, чтобы, во-первых, в среднем по всем фактически образованным контактам листов в металлоконструкции минимизировались максимальные по модулю значения создаваемых термоэлектродвижущих сил, во-вторых, не превышались предельно допустимые по модулю значения термоэлектродвижущих сил в размере 5 – 8 мВ. Нижний предел используют при повышенных сроках эксплуа-

тации судна, верхний – для рядовых условий.

Если условия не выполняются, то заготовки с недопустимо большими термоэлектродвижущими силами в контакте со всеми другими заготовками заменяются на новые и замеряются максимальные термоэлектродвижущие силы заменяющих заготовок со всеми другими заготовками. Процесс повторяется вплоть до удовлетворения всех отобранных заготовок обоим условиям. После чего выполняют оставшиеся заготовительные, сборочно-сварочные и антикоррозийные операции.

Согласно другого варианта подбора заготовок определяют максимальные термоэлектродвижущие силы термопар в контакте одной случайно выбранной заготовки со всеми другими заготовками. Отбирают заготовку, имеющую с первой максимальное по модулю значение максимальной термоэлектродвижущей силы. С отобранной заготовкой проводят новый цикл измерений – со всеми заготовками, кроме уже задействованной при предыдущем цикле измерений. Затем строят понижающийся ряд максимальных термоэлектродвижущих сил. После чего значение максимальной по модулю термоэлектродвижущей силы в контакте двух любых заготовок находят приближенным способом по построенному ряду – как разность термоэлектродвижущей силы в контакте одной заготовки с отобранной заготовкой и другой заготовки с отобранной.

Разработанный технический инструментарий позволяет осуществлять анализ потенциограмм карт в полотнищах и рационально подбирать заготовки в них, предотвращая электрохимическую коррозию сварной металлоконструкции.

Библиографический список

1. Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки [Текст]: учебник для машиностроительных вузов / Б.Д. Орлов, А.А. Чакалев, Ю.В. Дмитриев [и др.]. // Под общ. Ред. Б. Д. Орлова. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГНОЗА ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАПЧАСТЕЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Яковлев А.Н.

*Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия*

Введение

С каждым годом общее количество автомобильного транспорта в мире растет. При этом, число сделок купли-продажи на вторичном рынке превосходит аналогичный показатель на первичном более чем в 2 раза по России [1]. А учитывая тот факт, что подержанные автомобили в большинстве случаев требуют ремонта, можно сделать вывод, что рынок автотопливо растет вслед за рынком автомобилей. На фоне этого, компании, занимающиеся продажей автомобильных запчастей, сталкиваются с проблемами выгодного размещения основных (складские помещения) и оборотных (товарные запасы) средств. Решения такого рода проблем, как правило, основаны на личном опыте и интуиции аналитиков. Автоматизация решения позволит получить значительно более точные результаты, предсказывать спрос с учетом сезонных колебаний и всплесков, предсказывать влияние маркетинговых акций на продажи и сократить численность штата аналитиков.

Постановка задачи

Целью работы является разработка программно-методического обеспечения для решения задачи автоматизированного определения оптимального объема закупки товаров.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

– Определение свойств исходных данных;

- Обзор методов анализа и прогнозирования временных рядов;
- Обзор программных средств реализации;
- Определение оптимальных параметров метода прогнозирования «Гусеница-SSA»;
- Внедрение разработанного комплекса.

Задачи определения свойств исходных данных, обзора и выбора моделей и методов прогнозирования подробно описаны в статье [2]. В данной же работе рассматривается задача выбора программных средств для разработки. Исходными данными для этой задачи являются выбранный в [2] метод прогнозирования и набор временных рядов с данными о продажах за определенный период.

Метод прогнозирования

Обоснованию выбора метода прогнозирования посвящена статья [2]. Полный алгоритм метода представлен в ней и в пособии [3]. Здесь же приведем краткое описание метода.

Метод SSA (singular spectrum analysis, «Гусеница») состоит в получении многомерного временного ряда из исходного одномерного ряда F_N , после чего многомерный ряд подвергается сингулярному разложению, на основании которого строится линейная рекуррентная формула (ЛРФ), управляющая рядом. Применяя эту ЛРФ к последним точкам ряда, получим продолжение исходного ряда.

Исходный набор временных рядов

В данном докладе в качестве исходных временных рядов использовались исторические данные о продажах одного из розничных магазинов автозапчастей за 2 года с периодом в одну неделю.

Параметры метода «Гусеница»

В данной работе, в качестве значений параметров метода примем следующие значения:

- Длина окна $L = N / 2$,
- Число групп $m = 2$,
- Число точек прогноза $M = 30$.

Подбор наиболее оптимальных параметров метода выходит за рамки данной работы и является предметом дальнейшего изучения.

Конечные потребители продукта

Большинство из торговых компаний уже используют в своей деятельности программные средства автоматизации ведения торгово-складского учета. Одним из наиболее распространенных программных средств для этих целей является продукт «1С: Предприятие». В данной работе будем ориентироваться на торговые компании, использующие именно этот продукт.

Помимо этого, до начала разработки программного продукта, необходимо учесть операционную систему, на которой он будет работать. Большая часть торговых предприятий (89 %) используют компьютеры с операционной системой Windows [4]. Доля Unix составляет примерно 7 %. Использование OS X составляет 4 %. Поэтому способность приложения работать на различных платформах (кроссплатформенность) не является приоритетом в данной работе, т.к. основная часть рынка работает с ОС Windows.

Выбор модели использования программного обеспечения

Принимая во внимание изложенные факторы, могут быть предложены 3 модели программного обеспечения: SaaS-модель, самостоятельное приложение, приложение-интеграция с платформой 1С. Рассмотрим подробнее достоинства и недостатки этих моделей.

Модель SaaS (англ. *software as a service – программное обеспечение как услуга*) – модель использования и продажи программного обеспечения, при которой поставщик разрабатывает веб-приложение и самостоятельно управляет им, предоставляя заказчику доступ к программному обеспечению через Интернет.

Основные особенности:

- вычислительные мощности не ограничены ресурсами потребителя услуги;
- отсутствуют затраты, связанные с установкой, обновлением и поддержкой работоспособности оборудования и работающего на нём программного обеспечения со стороны клиента;
- требуется постоянное стабильное подключение потребителя к Интернету;
- значительные материальные затраты на установку и поддержку работоспособности оборудования со стороны поставщика услуги;
- конфиденциальная информация передается на удаленный сервер, что требует дополнительных мер по защите данных от хищения;
- устанавливается на оборудование конечного клиента, поэтому вычислительные ресурсы напрямую зависят от характеристик оборудования;
- соединение с сетью Интернет необходимо только для получения обновлений продукта, в остальных случаях в нем нет необходимости;
- информация из БД клиента не передается на внешний сервер;
- требуются дополнительные затраты на обучение сотрудников новой программе.

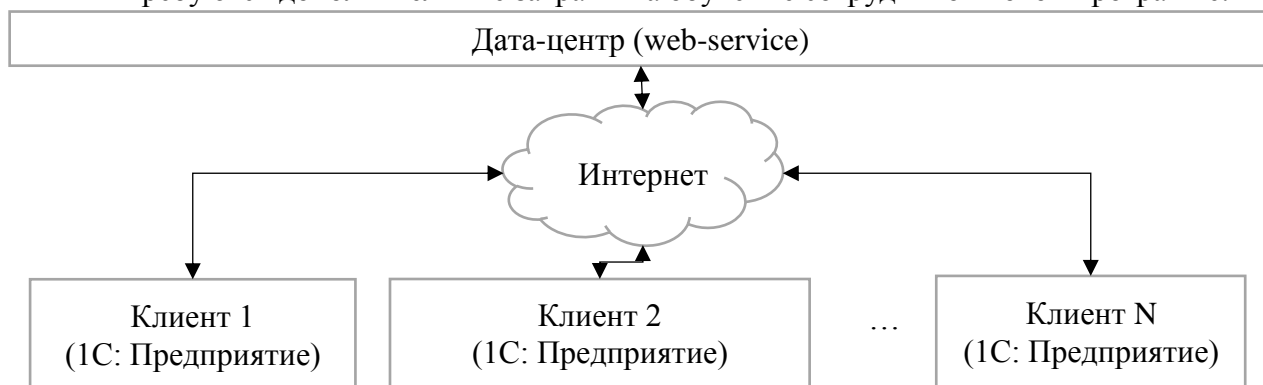


Рисунок 2 – Схема SAAS-модели

Модель самостоятельного приложения

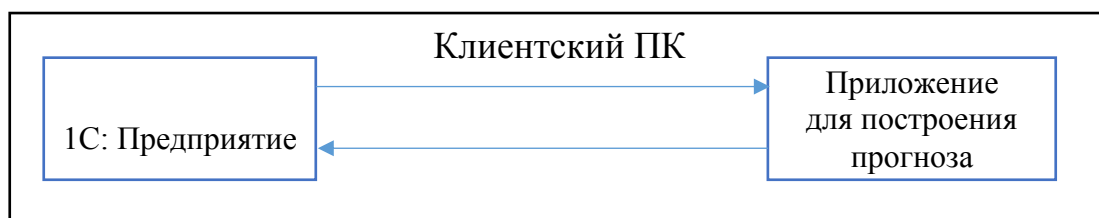
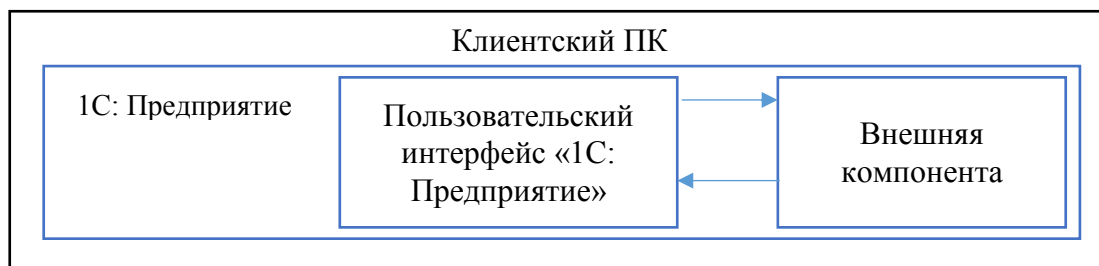


Рисунок 3 – Схема модели самостоятельного приложения

Модель интегрированной системы имеет сходство с моделью самостоятельного приложения, но имеется ряд преимуществ в области взаимодействия с системой управления торговлей (1С). Основное отличие состоит в том, что внешняя компонента не имеет собственного пользовательского интерфейса, поэтому вся интеракция с программой происходит в привычном для пользователя интерфейсе «1С: Предприятие». Исходные данные для прогнозирования продаж берутся непосредственно из 1С, обрабатываются методами так называемой внешней компоненты (динамически-подключаемая библиотека), затем возвращаются назад в базу 1С в виде прогнозных данных, где происходит их визуализация и анализ пользователем системы.

Важным критерием при выборе модели использования программного обеспечения стала экономическая составляющая. Поэтому выбор был сделан в пользу интегрированной системы, которая лишена недостатков модели самостоятельного приложения, и в то же время, позволит сократить затраты на дорогостоящее серверное оборудование и его содержание, а также использовать имеющееся программное обеспечение 1С в качестве основы для интеграции.



Структура программного продукта

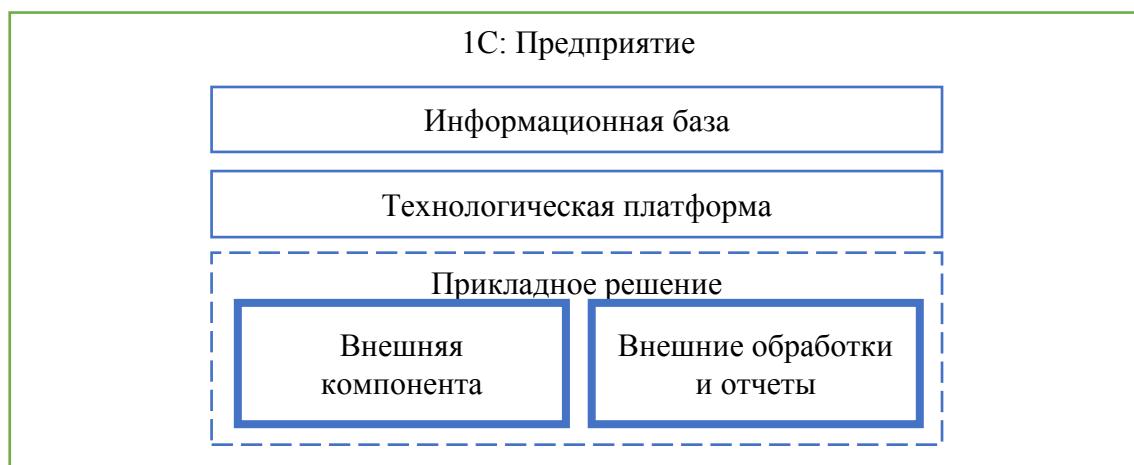


Рисунок 5 – Структура программного продукта

Система «1С: Предприятие» является расширяемой системой. Для расширения функциональных возможностей системы используются внешние компоненты. С их помощью решаются задачи, которые невозможно или нецелесообразно реализовать на встроенном в «1С: Предприятие» языке программирования.

В «1С» используются две технологии создания внешних компонент: с использованием Native API и с использованием технологии COM. Native API позволяет создавать внешние компоненты, которые могут подключаться как в клиентском приложении, так и на сервере «1С: Предприятия», в том числе и в версии для Linux. Технология внешних компонент с использованием COM может применяться в «1С: Предприятии» более ранних версий (версии 7.7, 8.0 и 8.1). В данной работе мы будем использовать внешние компоненты с использованием COM, т.к. поддержка ранних версий 1С критически важна.

Механизм внешних отчетов и обработок обеспечивает взаимодействие с пользователем и ввод-вывод данных в «1С: Предприятии».

Таким образом, разрабатываемый программный продукт состоит из внешней компоненты и набора внешних отчетов и обработок. В данной работе, в качестве информационной базы использована торговая база магазина продажи автозапчастей «М-Авто», с данными по закупкам и продажам запчастей за период с 2011 по 2013 годы. В качестве технологической платформы будет выступать «1С: Предприятие» версии 8.2.19.83.

Разработка внешних отчетов и обработок производится с использованием среды разработки, встроенной в платформу «1С: Предприятие». Данный процесс выходит за рамки этой работы и подробно освещен в книге [5].

Внешние компоненты 1С представляют собой некоторые объекты, имеющие свойства, методы и обладающие возможностью генерировать события для обработки системой «1С: Предприятие». Приступая к созданию этих объектов, необходимо выбрать наиболее подходящий язык программирования и среду разработки.

Выбор языка программирования и среды разработки для создания внешней компоненты IC

Проведем сравнение языков программирования, применимых для этой задачи. Критерием применимости является возможность языка реализовать процедурную и объектно-ориентированную парадигмы и кросс-платформенность (Windows/Unix).

Сравнительный анализ языков программирования

Язык Delphi, несмотря на простоту изучения, является морально устаревшим, поэтому его использование имеет смысл лишь в целях обучения и для поддержки старых проектов. Новые версии языка и среды разработки выходят редко и привносят незначительные обновления.

Язык Java наиболее ориентирован на разработку мобильных приложений и веб-сервисов, а к его существенным недостаткам можно отнести консерватизм в развитии.

Наиболее динамично развивающейся платформой для разработки на текущий момент является Microsoft .NET Framework и Visual Studio. Эта платформа поддерживает языки C++, C#, Visual Basic.NET и другие. Большим преимуществом для данной работы является ориентированность платформы, в первую очередь, на операционные системы Windows. Рассмотрим основные языки платформы .NET: C++, C#, VB.NET.

Язык C++ является наиболее мощным и производительным из этих трех языков, однако, ценой этого выступает сложность его изучения и разработки. Неполная типобезопасность значительно увеличивает вероятность допущения ошибок программистом, которые полностью минимизируют возможный прирост производительности от использования этого языка. Поэтому, наиболее оптимальным выбором будет являться использование полностью типобезопасных языков, таких как C# и VB.NET. Основным отличием этих языков является синтаксис, однако, количество обучающих ресурсов, документации и готовых модулей сторонних разработчиков по языку C# значительно больше.

Перечислим основные факторы, влияющие на выбор языка программирования, в виде сводной таблицы 1.

Таблица 1 – Критерии выбора языков программирования

| Язык программирования | Скорость разработки | Порог вхождения | Производительность | Основная среда разработки |
|-----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|
| Delphi | Высокая | Низкий | Низкая | Embarcadero Delphi |
| C++ | Низкая | Высокий | Очень высокая | Visual Studio |
| C# | Средняя | Низкий | Высокая | Visual Studio |
| Java | Средняя | Средний | Высокая | Netbeans / IntelliJ IDEA / Eclipse |
| VB.NET | Средняя | Низкий | Средняя | Visual Studio |

Таким образом, основываясь на перечисленных выше факторах, можно сказать, что наиболее оптимальным языком программирования для разработки внешней компоненты описанного программного продукта, является язык C# и среда разработки Microsoft Visual Studio Express Edition.

Заключение

Использование данных средств позволило разработать комплекс программных средств, реализующих описанную модель. На данный момент комплекс запущен в тестовом режиме и показывает удовлетворительные результаты, а именно, при длине анализируемого временного ряда до 100 значений – среднее время построения прогноза с автоматической оптимизацией параметров не превышает 1 с. Такие предварительные результаты говорят о том, что после оптимизации алгоритмов данная модель может успешно применяться для решения поставленной задачи.

Библиографический список

1. Рынок легковых автомобилей с пробегом в России. Итоги 2014 года, тенденции и перспективы, Тольятти, 2015.
2. А. Л. Обзор методов прогнозирования объемов продаж автомобильных запчастей 2015.
3. Голяндина Н.Э. Метод Гусеница-SSA: прогноз временных рядов 2004.
4. Электронный ресурс. Режим доступа: // Desktop Top Operating System Share Trend: [сайт]. [2015]. URL: <http://www.netmarketshare.com/report.aspx?qprid=11&qpcustomb=0> (дата обращения: 18.5.2015).
5. Ажеронок В.А., Габец А.П., Гончаров Д.И., Козырев Д.В., Кухлевский Д.С., Островерх А.В., Радченко М.Г., and Хрусталева Е.Ю. Профессиональная разработка в системе «1С: Предприятие 8». Издание 2. 1С-Паблишинг, 2012. 1400 pp.
6. Meader P. «C#'s Exploding Mindshare» Visual Studio Magazine. 2007.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Михайлов В.Г., Киселева Т.В.

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Успешное функционирование современного промышленного предприятия во многом зависит от эффективности управления локальной эколого-экономической системой «Промышленное предприятие – окружающая среда» [1, 2]. В настоящей работе предлагается рассмотреть процесс управления производственной программой предприятия с учетом эколого-экономических ограничений как совершенствования элемента всего организационно-экономического механизма управления природоохранной деятельностью (ОЭМУПОД) предприятия [3]. На рисунке 1 представлена схема механизма процесса управления локальной эколого-экономической системой с выделенным элементом ОЭМУПОД [4, 5].

Основная идея предложенного подхода заключается в том, что для предприятий с диверсифицированной производственной программой важным представляется планирование выпуска таких видов продукции по номенклатурным и ассортиментным позициям, которые в меньшей степени оказывают негативное воздействие на окружающую среду и эколого-экономический результат деятельности предприятия. Основные ограничения при использовании данного механизма связаны со специфической производственной программой, которая должна иметь определенную «степень свободы» при выборе экологически целесообразных видов продукции. Другими возможными ограничениями могут быть производства стратегического назначения (ВПК), а также уникальность технологического оборудования, которое нельзя переориентировать на выпуск других видов продукции. На рисунке 2 представлена схема формирования экологобезопасной производственной программы [6, 7].

Из рисунка 2 видно, что после формирования первого сценария экологобезопасной производственной программы производится сравнение основного технико-экономического показателя параметра (прибыли) с различными эколого-экономическими показателями. В частности, очень важным является сопоставление прибыли, получаемой от реализации данного вида продукции, и дополнительного увеличения платы за негативное воздействие на окружающую среду ($\Delta\Pi$), что особенно актуально в связи с перспективным повышением данного платежа [8, 9].

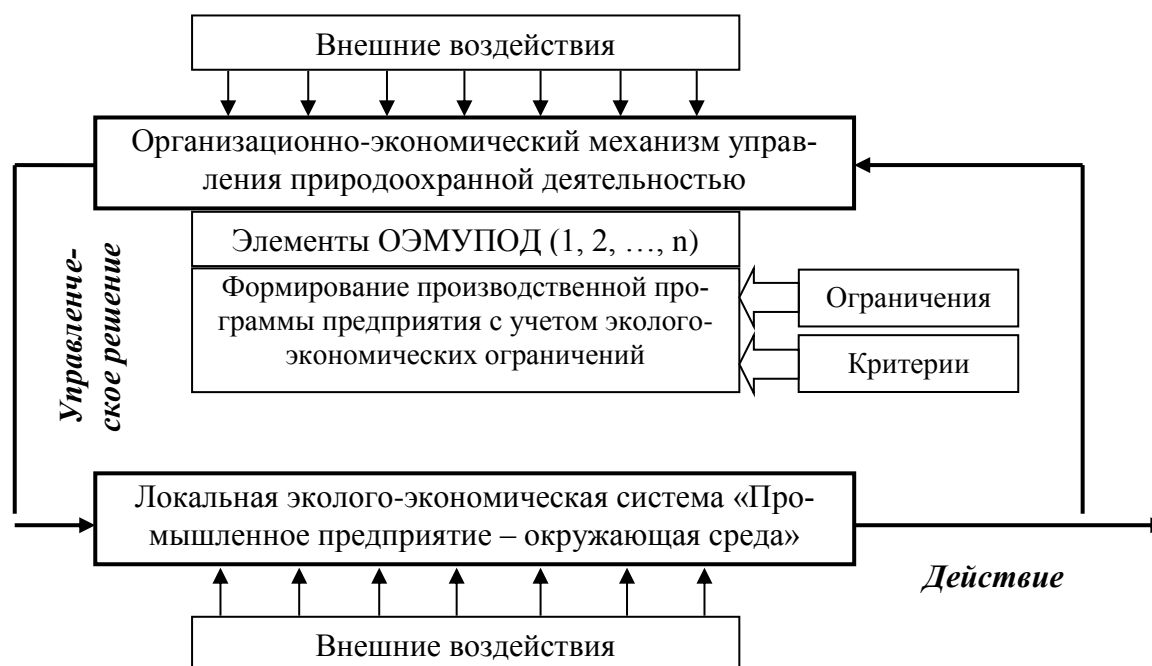


Рисунок 1 – Упрощенная схема механизма управления локальной эколого-экономической системой на основе формирования производственной программы с учетом эколого-экономических ограничений

Другим критерием включения номенклатурной или ассортиментной позиции в экологобезопасную производственную программу является соотнесение прибыли и экономического ущерба от загрязнения окружающей среды (ЭУ) данным видом продукции. Основная проблема связана с выбором адекватного метода оценивания экономического ущерба, который может существенно искажаться под воздействием макроэкономических факторов [10]. Здесь важную роль могут сыграть существующие методики оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Важным критерием предлагаемого инновационного элемента ОЭМУПОД является сопоставление прибыли со штрафами (Ш) за нарушение экологического законодательства, а также за предоставление недостоверной информации о негативном воздействии на окружающую среду.

Современные требования для предприятий, активно функционирующих на внешнем рынке, связаны с необходимостью использования системы экологического менеджмента, в том числе сертифицированием продукции и технологических процессов по стандартам серии ISO-14001[6].

Решение об окончательном включении в производственную программу может приниматься на основе такого критерия, как использование предприятием наилучших доступных технологий (НДТ) для снижения экологической нагрузки на окружающую среду, что вызвано современными экологическими требованиями [11, 12], в том числе, перспективой увеличения повышающих коэффициентов при расчете платы за негативное воздействие с 5 до 100 [8, 9].

Важным фактором, который должен быть исследован при формировании экологобезопасной производственной программы – оценивание прямых, косвенных затрат и рисков, связанных с ликвидацией номенклатурной или ассортиментной позиции. Такие негативные явления могут быть вызваны, например, потерей рыночной ниши или необходимостью решения социально-экономических проблем по причине закрытия отдельных производств и высвобождения работников.

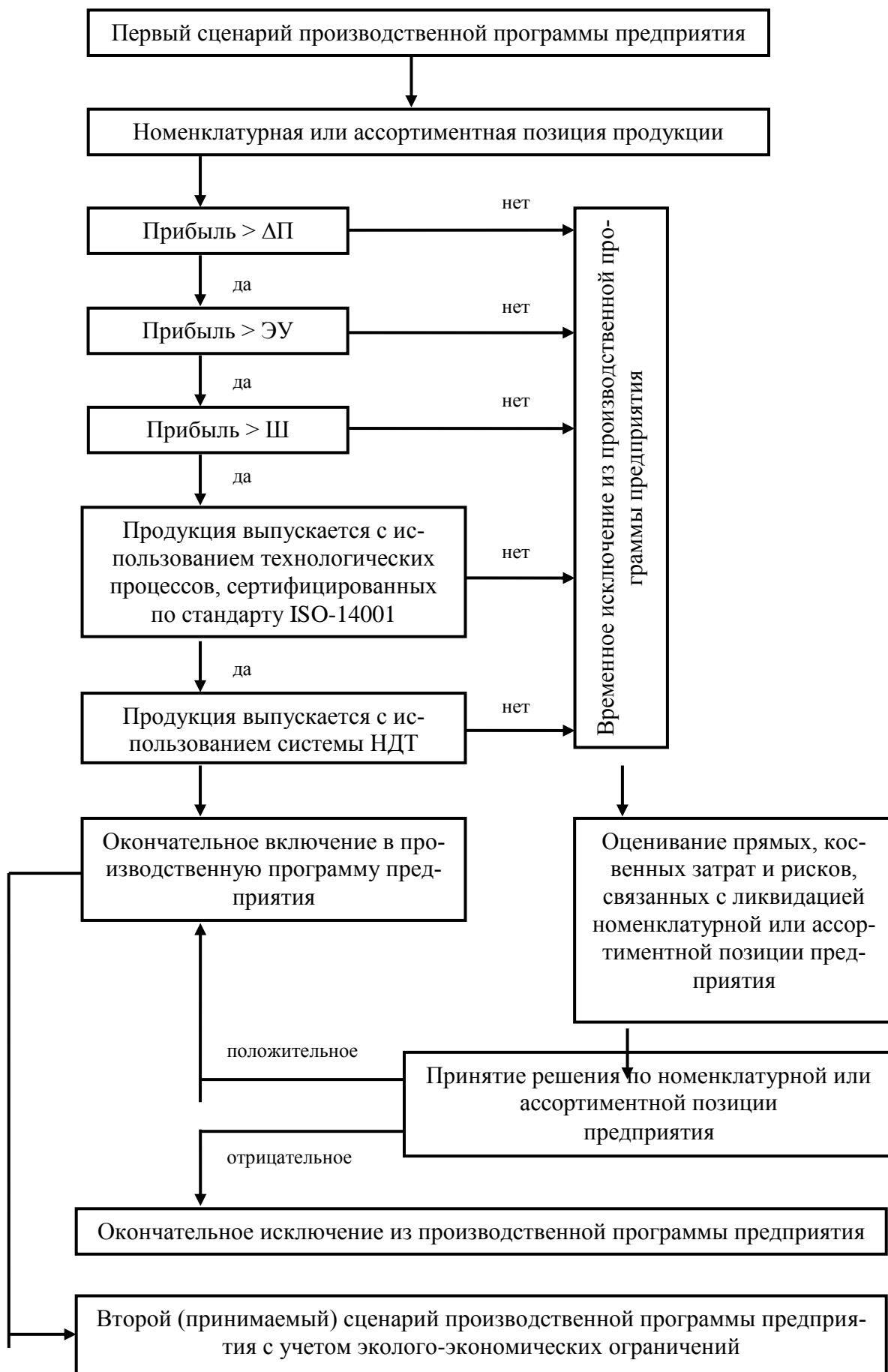


Рисунок 2 – Схема формирования производственной программы предприятия с учетом эколого-экономических ограничений

Эколого-экономические риски также генерируются значительными затратами, необходимыми для утилизации опасных производств с использованием токсичных сырьевых ресурсов и «грязных» технологических процессов [13].

Представленная схема управления производственной программой с учетом эколого-экономических ограничений может быть реализован на предприятиях с диверсифицированной производственной программой, когда при производстве отдельных видов продукции или ее разновидностей применяются экологически опасные компоненты, в результате чего существенно увеличивается экономический ущерб и плата за негативное воздействие на окружающую среду. Данный алгоритм изначально разрабатывался для такого крупного химического предприятия, как Кемеровский КОО «Азот», выпускающего более 40 видов продукции [14].

Предложенная система управления производственной программой предприятия с учетом эколого-экономических ограничений, как элемент совершенствования всего ОЭМУПОД, особенно актуальна в современных условиях реформирования и ужесточения экологического законодательства в части платы за негативное воздействие на окружающую среду и необходимости поэтапного перехода к системе нормирования и эксплуатации природоохранного оборудования на принципах НДТ.

Библиографический список

1. Бурков, В.Н. Механизмы управления эколого-экономическими системами / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, А.В. Щепкин. – М.: Издательство физико-математической литературы, – 2008. – 244 с.
2. Киселева, Т.В. Оценка основных подходов к определению состояния эколого-экономических систем / Т.В. Киселева, В.Г. Михайлов // Вестник Томского государственного педагогического университета. – Серия: гуманитарные науки (экономика, право). – 2007. – № 9. – С. 31-32.
3. Лукьянчиков Н.Н., Потравный И.М. Экономика и организация природопользования. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. – 2010. – 687 с.
4. Механизмы управления / В.Н. Бурков [и др.]. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 192 с.
5. Михайлов, В.Г. Управление локальной эколого-экономической системой на основе формирования диверсифицированной экологобезопасной производственной программы / В.Г. Михайлов, Г.С. Михайлов, Т.В. Киселева // Всероссийская научно-практическая конференция «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии»: материалы (Кемерово, 16-17 октября 2015 г.). – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Режим доступа: <http://www.sibscience.ru/page/ITSIT/1-informacionnye-sistemy-v-nauke/1082.pdf>. – [14.11.2015].
6. Киселева, Т.В. Проектирование организационно-технических мероприятий управления природоохранной деятельностью на КОО «Азот» / Т.В. Киселева, В.Г. Михайлов // Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов (Юрга, 27-28 ноября 2014 г.). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 113-117.
7. Михайлов, В.Г. Формирование экологобезопасной производственной программы как элемент организационно-экономического механизма управления природопользованием / В.Г. Михайлов, Т.В. Киселева // Научный конгресс «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения – СИББЕЗОПАСНОСТЬ-2015»: материалы (Новосибирск, 23-25 сентября 2015 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – С. 51-54.
8. Новикова О.Г. Изменения в законодательстве о плате за негативное воздействие на окружающую среду // Экология производства. – 2014. – № 11. – С. 30–34.
9. Максименко Ю.Л., Горкина И.Д., Кучкаров З.А. Природоохранные платежи в системе экологического регулирования // Экология производства. – 2015. – № 3. – С. 50–57.

10. Рюмина Е.В. Экономический анализ ущерба от экологических нарушений. – М.: Наука. – 2009. – 331 с.
11. Экономические аспекты внедрения НДТ / Т.В. Сокорнова, Е.Б. Королёва, О.И. Сергиенко, А.М. Кряжев // Экология производства. – 2012. – № 10. – С. 28–35.
12. Экономические аспекты внедрения НДТ / Т.В. Сокорнова, Е.Б. Королёва, О.И. Сергиенко, А.М. Кряжев // Экология производства. – 2012. – № 11. – С. 44–49.
13. Киселева, Т.В. Методы оценки и управление эколого-экономическими рисками как механизм обеспечения устойчивого развития эколого-экономической системы / Т.В. Киселева, В.Г. Михайлов // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – № 2 (48). – С. 69-74.
14. Березнев, С.В. Проблемы устойчивого развития химической промышленности России / С.В. Березнев, В.Г. Михайлов, Н.Ю. Петухова // Вестник КузГТУ. – 2009. – № 2. – С. 211-215.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ДОЗИРОВАНИЯ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ОФ «МАТЮШИНСКАЯ»

**Леонтьев И.А.¹, Венгер К.Г.¹, Файрушин Ш.А.¹, Циряпкина А.В.²,
Мышляев Л.П.², Ляховец М.В.²**

¹ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово,

²Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Объектом контроля и управления является технологический процесс отгрузки продуктов обогащения, уложенных в пяти штабелях вдоль галереи сборного конвейера. Подача материала на сборный конвейер из каждого штабеля осуществляется соответствующей группой питателей.

В условиях ОФ «Матюшинская» для контроля процесса отгрузки продуктов обогащения используются пять конвейерных весоизмерительных устройств (по количеству штабелей отгружаемых продуктов), обеспечивающих измерение погонной нагрузки на ленту сборного конвейера и текущего расхода материала за каждым из штабелей (по направлению движения ленты сборного конвейера).

Структурная схема объекта контроля и управления, отражающая топологию размещения штабелей отгружаемых продуктов обогащения с расположением соответствующих групп питателей и весоизмерительных устройств представлена на рисунке 1.

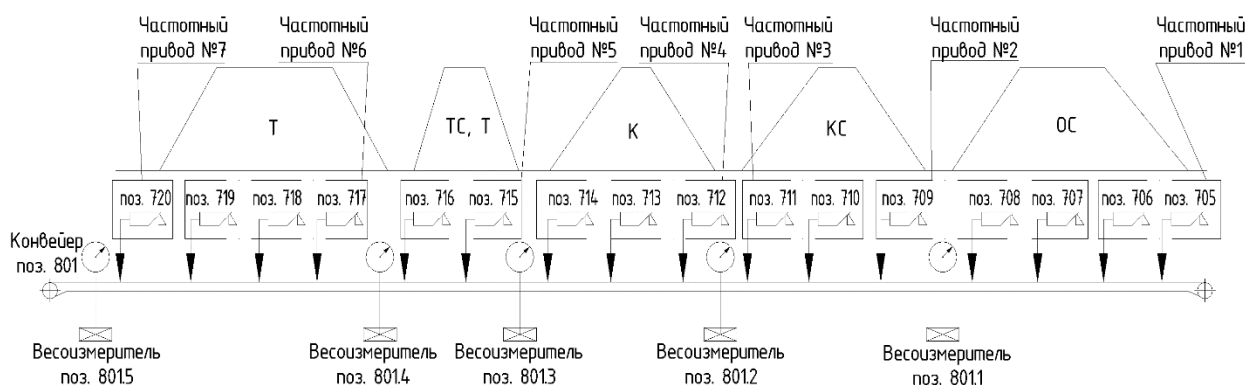


Рисунок 1 – Структурная схема объекта контроля и управления

Показания каждого из весоизмерителей (ВИ) соответствуют суммарной величине

погонной нагрузки на сборный конвейер, создаваемой материалами, отгруженными из всех предшествующих (по направлению движения ленты сборного конвейера) штабелей. Величина погонной нагрузки определяется количеством и текущей производительностью работающих питателей на разгрузке штабелей склада.

Непрерывное дозирование (регулирование расхода) любого из отгружаемых продуктов обогащения осуществляется путем изменения текущей производительности работающих питателей из состава группы питателей штабеля конкретного продукта обогащения посредством частотно регулируемого электропривода.

Реализованными в существующей системе техническими решениями предусмотрено использование семи частотно регулируемых электроприводов для управления производительностью шестнадцати питателей с возможностью подключения к одному частотно регулируемому электроприводу от одного до трех питателей одновременно. При этом управляющий сигнал на входе каждого из подключенных питателей равен по величине выходному сигналу соответствующего частотного преобразователя. «Привязка» питателей к штабелям продуктов обогащения (нумерация по направлению движения ленты сборного конвейера) и к частотно регулируемым электроприводам представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие питателей штабелям продуктов обогащения и частотно регулируемым электроприводам

| № штабеля и вид продукта | 1 ОС | | | | 2 КС | | | 3 К | | | 4 ТС, Т | | 5 Т | | | | | | | | |
|------------------------------|---------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|--------|-----|-----|------------|-----|--------|-----|-----|-----|--|--|---|--|--|
| | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 714 | 715 | 716 | 717 | 718 | 719 | 720 | | | | | |
| № частотного преобразователя | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | |

Рассматривая далее каждый частотно регулируемый электропривод с подключенными к нему питателями как отдельный канал регулирования, получаем следующие варианты структуры объекта управления при дозировании продуктов обогащения на открытом складе.

При дозировании продуктов обогащения из третьего и четвертого штабелей объекты управления имеют по одному каналу регулирования:

– для третьего штабеля канал регулирования образуют частотный привод № 4 с подключаемыми к нему питателями №№ 712, 713 и 714 (одновременно могут работать от одного до трех питателей в любой конфигурации).

– для четвертого штабеля канал регулирования образуют частотный привод № 5 с подключаемыми к нему питателями №№ 715 и 716, (одновременно могут работать от одного до двух питателей в любой конфигурации).

При дозировании продуктов обогащения из первого, второго и пятого штабелей объекты управления имеют по два канала регулирования:

1) для первого штабеля:

– первый канал регулирования образуют частотный привод № 1 с подключаемыми к нему питателями №№ 705 и 706 (одновременно могут работать от одного до двух питателей в любой конфигурации);

– второй канал регулирования образуют частотный привод № 2 с подключаемыми к нему питателями №№ 707 и 708 (одновременно могут работать от одного до двух питателей в любой конфигурации).

2) для второго штабеля:

– первый канал регулирования образуют частотный привод № 2 с подключаемым к нему питателем № 709;

– второй канал регулирования образуют частотный привод № 3 с подключаемыми к нему питателями №№ 710 и 711 (одновременно могут работать от одного до двух питателей в любой конфигурации).

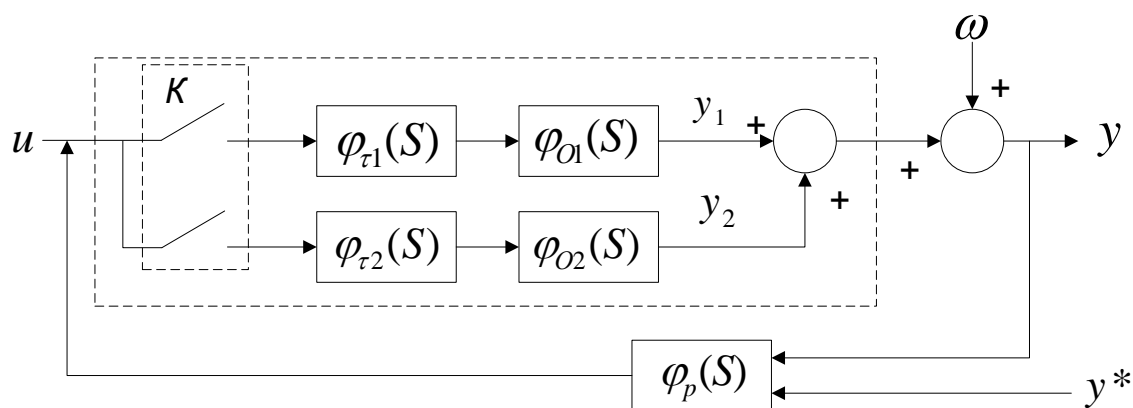
3) для пятого штабеля:

– первый канал регулирования образуют частотный привод № 6 с подключаемыми к нему питателями №№ 717, 718 и 719 (одновременно могут работать от одного до трех питателей в любой конфигурации).

– второй канал регулирования образуют частотный привод № 3 с подключаемым к нему питателем № 720.

Выбор состава и включение в работу питателей осуществляем в соответствии с утвержденным технологическим регламентом оператором комплекса погрузки. От принятых им решений зависят структура объекта управления (количество задействованных каналов регулирования) и динамические свойства этих каналов (запаздывание, динамика переходных процессов), определяемые конкретной конфигурацией включенных питателей в составе каждого канала регулирования. Другими словами, рассматриваемые объекты управления обладают структурным многообразием, требующим не только соответствующего многообразия структуры автоматических регуляторов, но и их параметрической адаптации.

Для примера на рисунке 2 изображена структурная схема САР одноканального объекта с одним регулирующим органом (частотно регулируемый электропривод) и двумя исполнительными механизмами (качающийся питатель).



K – коммутирующие элементы, управляемые командами оператора; u – управляющий сигнал на выходе регулирующего органа; y – регулируемая выходная величина (расход); y^* – заданное значение регулируемой выходной величины; ω – приведенное к выходу объекта неконтролируемое внешнее воздействие; $\varphi_{\tau 1}(S), \varphi_{O 1}(S)$ – оператор запаздывания и оператор модели первого питателя; $\varphi_{\tau 2}(S), \varphi_{O 2}(S)$ – оператор запаздывания и оператор модели второго питателя

Рисунок 2 – Структурная схема САР одноканального объекта

В рассматриваемом объекте операторная зависимость имеет вид:

$$y(S) = [\varphi_{\tau 1}(S) \cdot \varphi_{O 1}(S) + \varphi_{\tau 2}(S) \cdot \varphi_{O 2}(S)]u(S) + \omega(S). \quad (1)$$

Исходя из динамических характеристик регулирующих органов и исполнительных механизмов, а так же топологии рассматриваемого объекта управления, для условий одноканальной САР (например, при дозировании концентрата из четвертого штабеля) конкретизируем структуру и параметры модели (1).

$$\varphi_{\tau 1}(S) = e^{-S\tau_1},$$

$$\varphi_{\tau 2}(S) = e^{-S\tau_2},$$

$$\varphi_{O 1}(S) = k_1,$$

$$\varphi_{O 2}(S) = k_2,$$

$$\tau_1 = 5 \text{ с}, \tau_2 = 10 \text{ с}, k_1 = k_2 = 4 \frac{\text{т/час}}{\%}.$$

Графики переходного процесса для данного объекта под влиянием изменения u управления при $\omega = 0$ представлены на рисунке 4.

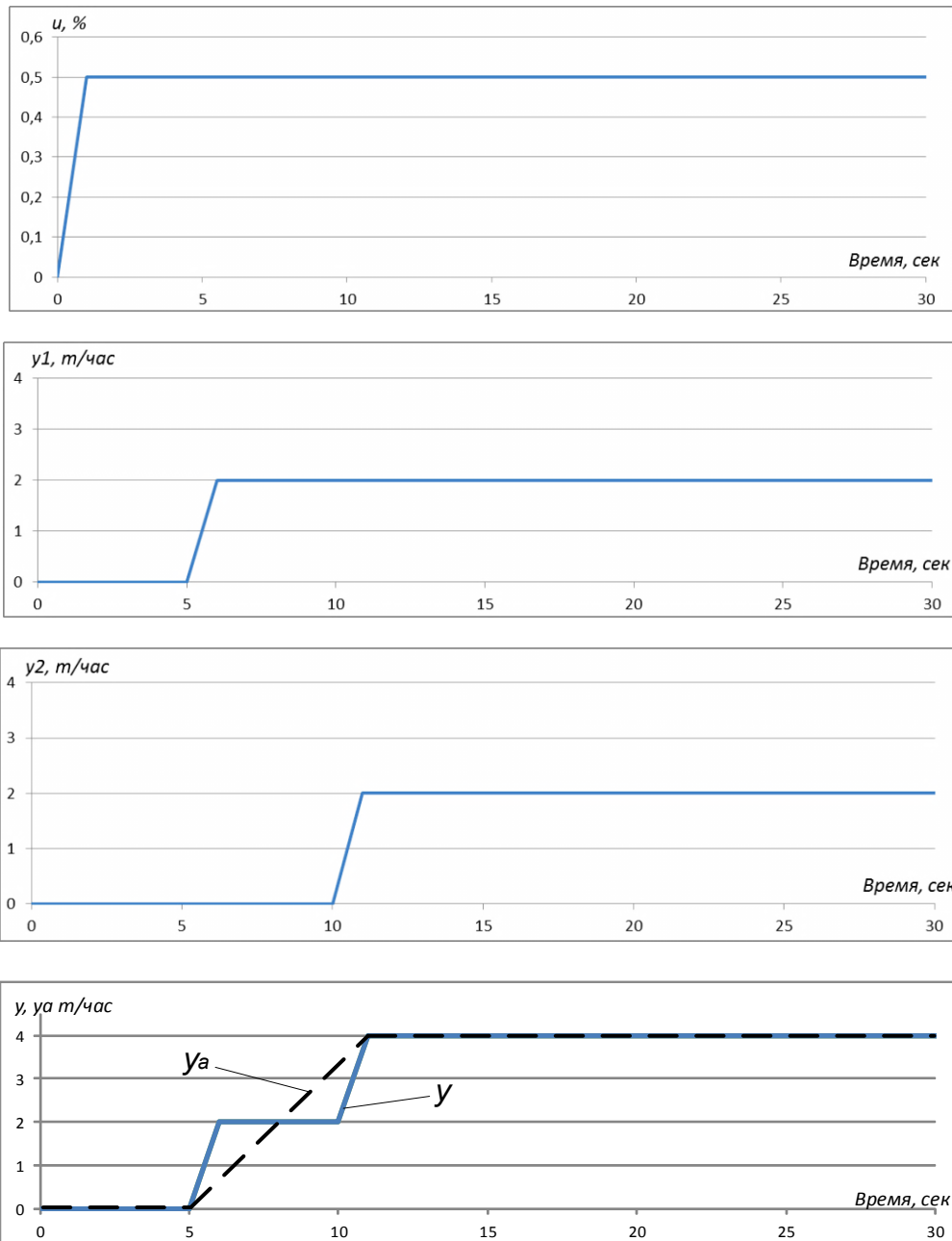


Рисунок 4 – Переходные процессы канала регулирования

При построении САР такого рода объектов возможны два подхода:

1) Традиционный – с применением типового одноканального регулятора. Такой подход в настоящее время наиболее распространен.

2) С применением специализированных регуляторов, предусматривающих расчетную (модельную) компенсацию влияния положительных связей объекта управления [1].

В первом случае можно выполнить аппроксимацию модели (1) моделью с сосредоточенными параметрами вида

$$y(S) = u(S)\varphi_{\tau}(S)\varphi_0(S) + \omega(S). \quad (2)$$

Характеристики $\varphi_0(S)$ получены из графиков переходной характеристики объекта (рисунок 4). Здесь наряду с выходными переменными y , y_1 , y_2 изображена аппроксимационная кривая y_a изменения выхода канала регулирования. Сопоставляя изменение управляющего входа u и выхода y объекта, приходим к модели в виде интегрального звена с отсечкой [2]:

$$\varphi(S) = \frac{k_O}{t_{OT}} [1 - e^{-St_{OT}}]u(S), \quad (3)$$

которую для удобства дальнейшего применения заменяем моделью (4) в виде аperiodического звена с запаздыванием (в соответствии с рекомендациями [2]):

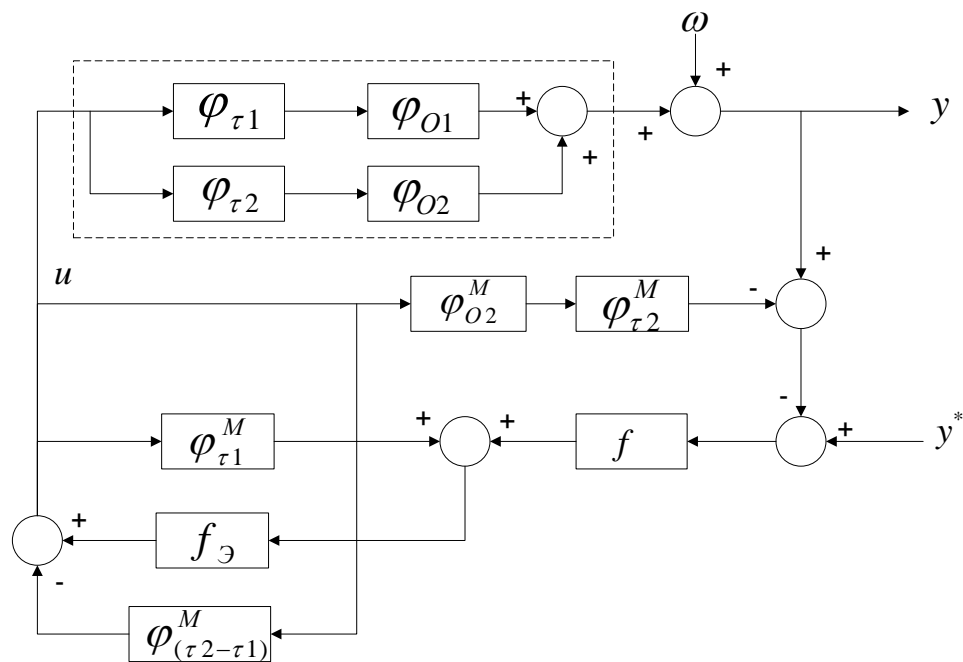
$$\varphi(S) = \frac{k_O}{T_O S + 1} e^{-S\tau_O}, \quad (4)$$

где $t_{OT} = \Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$; $\tau_O = \tau_1 + 0,22t_{OT}$; $T_O = 0,38t_{OT}$; $k_O = \frac{k_u}{t_{OT}}$.

При этом структура и настроечные коэффициенты одноканального регулятора выбираются по традиционной методике, изложенной, например в [3].

Для рассматриваемых условий выбираем ПИ-регулятора с настроечными коэффициентами $k_p = \frac{0,38\Delta\tau}{k_O \cdot 0,22\Delta\tau}$, $T_u = \frac{k_p}{0,38\Delta\tau}$.

Во втором случае выбор структуры и коэффициентов регулятора $f(S)$ выполнен с учетом рекомендаций [1]. Структурная схема соответствующей САР изображена на рисунке 5.

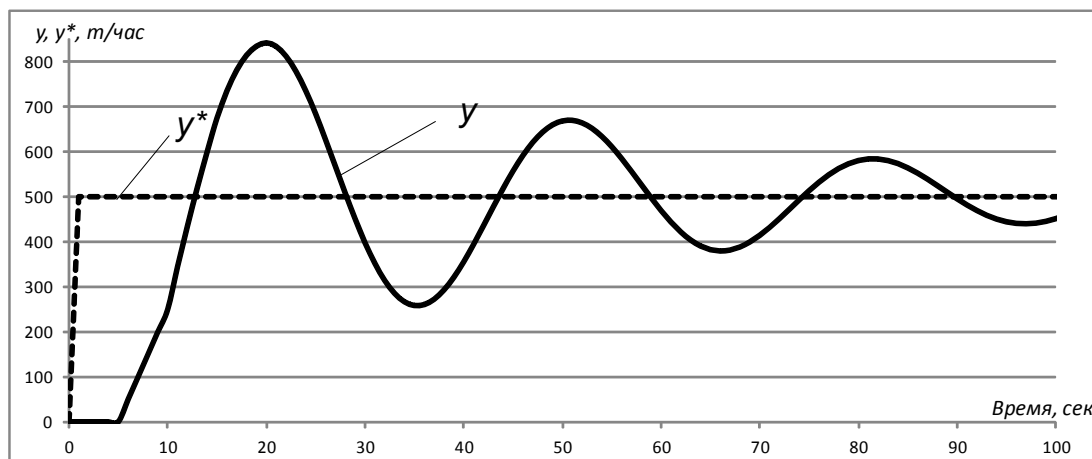
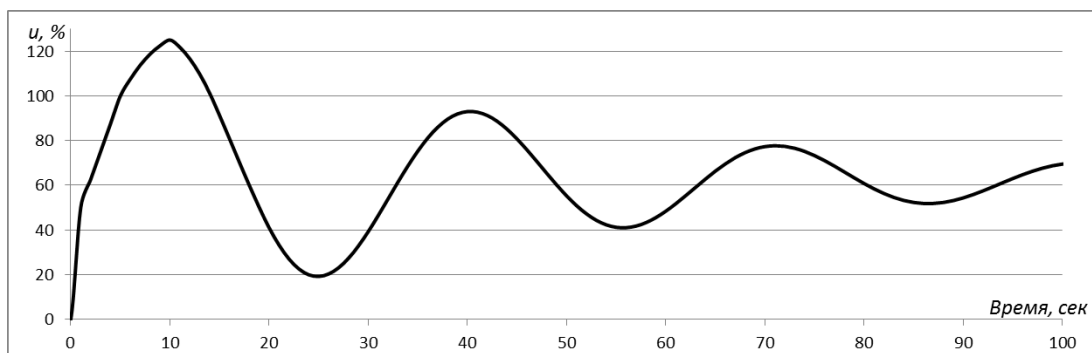


$\varphi_{\tau_1}, \varphi_{O1}$ – оператор запаздывания и оператор модели первого питателя;
 $\varphi_{\tau_2}, \varphi_{O2}$ – оператор запаздывания и оператор модели второго питателя;
 f_{Δ} – блок экстраполяции; f – блок регулятора, индекс «М» означает «модельный»

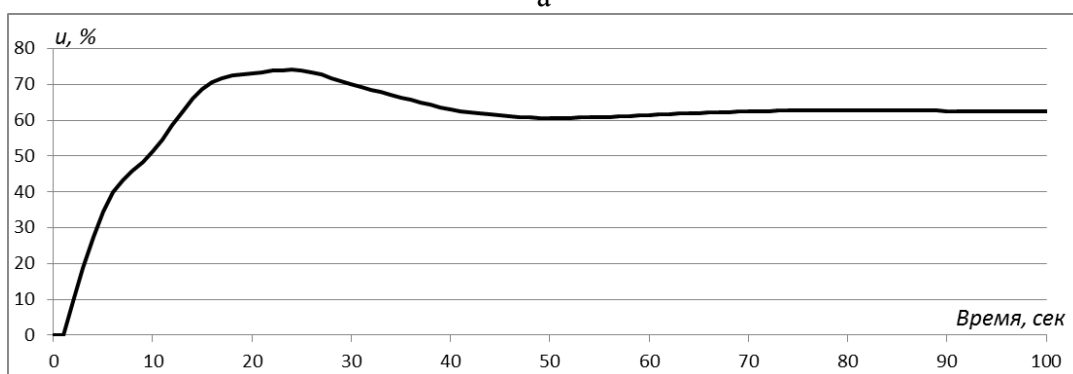
Рисунок 5 – Структура САР

В рассматриваемой системе выполняется запаздывающее (на интервале τ_1) оценивание идеального управления u^{id} (для случая управления только одним первым питателем) и экстраполяция его на интервале τ_1 с последующим исключением эффекта работы второго питателя на момент времени $(\tau_2 - \tau_1)$. Сформированный таким образом управляющий сигнал поступает на вход регулирующего органа

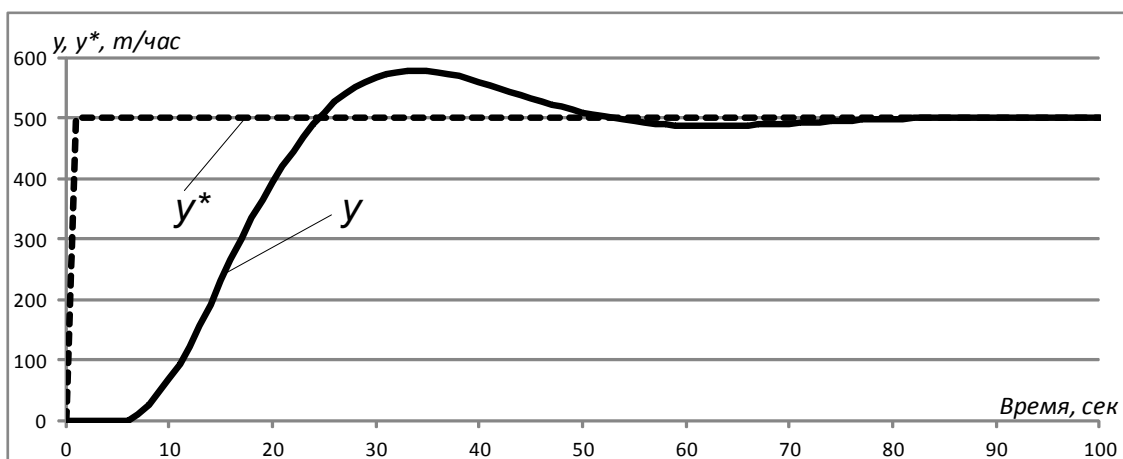
Оценка эффективности двух вариантов САР приведена по результатам имитационного математического моделирования САР с дискретностью вычислений $\Delta t = 1$ с. На рисунке 6, а изображены графики переходного процесса САР с типовым регулятором при влиянии изменения задающего воздействия y^* . Достижимая точность регулирования оце-



а



б



а – САР с типовым регулятором; б – со специальным регулятором
 u – управляющее воздействие; y – выходное воздействие; y^* – задающее воздействие

Рисунок 6 – Графики переходных процессов

нена по величине среднемодульного значения интегральной ошибки регулирования на интервале переходного процесса. На рисунке 6, б представлены результаты испытаний САР рисунка 5 для случая, когда экстраполяция (оператор f_3) осуществлялась посредством экспоненциального сглаживания и сдвигки на время τ_1 сигнала u^{id} .

Достижимая точность регулирования оцениваем по величине среднемодульного значения интегральной ошибки регулирования на интервале переходного процесса.

Для САР с типовым регулятором $Q_{тр} = 181,4$ т/час..

Для САР со специальным регулятором $Q_{сп} = 82,1$ т/час..

Из данных значений можно сделать вывод о том, что САР со специальным регулятором превосходит по эффективности регулирования САР с типовым регулятором более чем, в 2 раза.

Библиографический список

1. Методы управления технологическими процессами / У. Рей. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
2. Статические и динамические свойства агломерационного процесса / А.Д. Ищенко. – М.: Metallurgia, 1972. – 320 с.
3. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов: пособие по курсовому и дипломному проектированию. / Г.М. Глишков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман, М.Р. Шапировский; Под ред. Г.М. Глинкова. – М.: Metallurgia, 1986. – 352 с.

УНИФИЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРА

Кубарев В.А., Ермаков И.А., Веригин Н.В., Шаталов Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В настоящее время происходит отказ от применения в вновь вводимых в эксплуатацию шахтах и новых выработках действующих шахт вертикальных и наклонных подъемов и переход к активному применению конвейерного транспорта. При этом часто конвейерные линии комплектуются устаревшей релейной и полупроводниковой аппаратурой управления и сигнализации, например АУК-10, АУК-10ТМ с прямым пуском электроприводов конвейеров.

Вышеперечисленные устройства обладают рядом недостатков:

- низкая информативность основных контролируемых параметров;
- задержка в формировании сигнала на аварийный останов конвейера, порядка 0,5 с;
- низкая точность измерения скорости конвейерного полотна из-за большого числа механических связей.

В НИИ АЭМ СибГИУ разработана, прошла технологические испытания и была успешно внедрена система автоматического управления электроприводом конвейера, позволяющая целиком заменять устаревшие устройства управления и защит конвейерных линий. Система выполнена на основе контроллера Fastwel, и предназначена для управления конвейерными линиями разной сложности и протяженности.

Данная система выполняет следующие основные функции:

- Местное управление конвейером с блока управления конвейером (БУК)
- Дистанционное управление конвейерной линией с АРМ диспетчера;
- Аварийный останов конвейера, конвейерной линии или её части по взаимоблокировке с другими системами;
- Запуск конвейерных линий, и дозапуск отдельных конвейеров без остановки работающих конвейеров в последовательности, исключающей обрывы лент и завалы мест пере-

грузок;

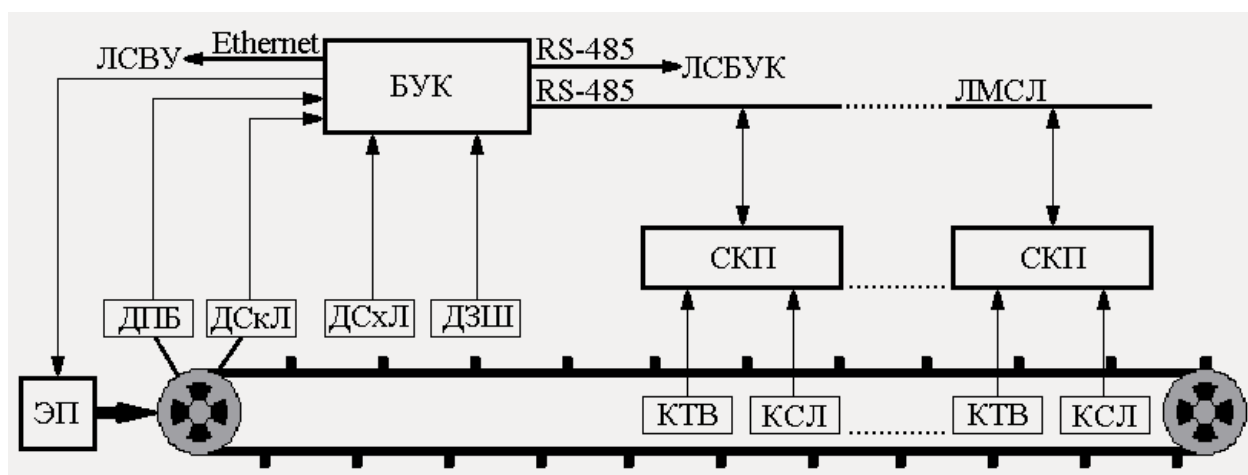
- Управление сигнализацией конвейера и всей линии в целом (звуковой, световой) аварийной и предупредительной;

- Реализация различных защит: аварийный останов линии с любого места конвейера, при сходе ленты и её разрыве, при снижении скорости и пробуксовке, при срабатывании датчика заштыбовки, при съеме ограждения, при срабатывании датчика температуры приводного барабана, др.;

- Гибкая настройка параметров системы, как для отдельного конвейера, так и конвейерной линии в целом.

- Отображение информации на БУК и АРМ диспетчера конвейерной линии: оперативная информация о скорости ленты и направлении вращения, токах двигателей, состоянии защит, заполнении промежуточных бункеров и состоянии их затворов и т.д.

Блок-схема унифицированной системы автоматического управления электроприводом конвейера приведена на рисунке 1.



Основные модули системы: БУК – блок управления конвейером; СКП – система контроля параметров конвейера; ЭП – электропривод конвейера; ДПБ – датчик положения барабана; ДСкЛ – датчик скорости ленты; ДСЛ – датчик схода ленты; ДЗШ – датчик заштыбовки; КТВ – кабель тросовый выключатель; КСЛ – контроль схода ленты; ЛСБУК – линия связи блоков управления конвейером; ЛМСЛ – линия связи модулей линейных; ЛСВУ – линия связи с АРМ верхнего уровня

Рисунок 1 – Блок-схема унифицированной системы автоматического управления электроприводом конвейера

В состав Системы управления входят:

- программируемый контроллер с каналами ввода импульсных сигналов, ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, управляемыми специальной программой;

- устройства сопряжения с объектом: импульсные датчики угловых перемещений, датчики напряжения и тока, нормализаторы сигналов и др., используемые для сбора информации о состоянии электроприводов и конвейерной линии;

- промышленный ЖК-дисплей с АРМ оператора подъемной установки для отображения параметров технологического процесса;

- устройство программирования – IBM-совместимый компьютер с программным обеспечением для чтения-записи рабочей программы контроллера и перепрограммирования (комплектуется по согласованию);

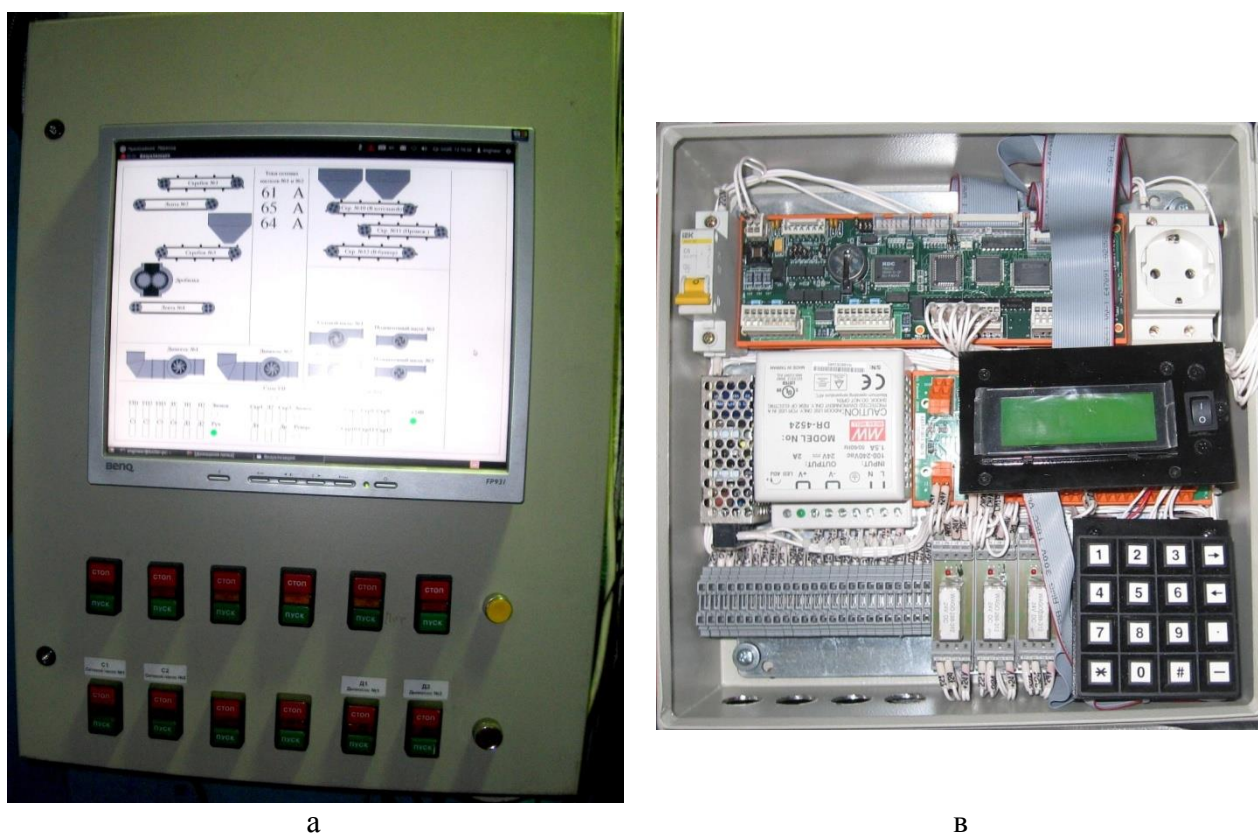
- частотные приводы на базе ЦУАЭ обеспечивающие плавный пуск конвейера и регулирование скорости ленты.

В качестве универсальной элементной базы используется специализированное вычислительное устройство с программируемыми логическими интегральными схемами (ПЛИС), что реализует идею программируемой архитектуры, позволяющую использовать гибкость программного подхода и скорость жесткой логики одновременно.

Формируемые сигналы управления в функции пути и параметры защит, как отдельного конвейера, участка или всей линии в целом можно оперативно изменить заданием параметров, они легко настраиваются на необходимые характеристики технологического процесса с пульта управления оператора, который реализуется на основе промышленной рабочей станции.

Модульное устройство контроллера и программного обеспечения [1, 2] позволяют осуществить дальнейшее расширение функциональных возможностей системы – качественное улучшение и увеличение числа защит, введение самонастройки и самодиагностики. Используемые средства коммуникаций предусматривают интегрирование УСАЭКТ в состав автоматизированной системы управления технологическим процессом на предприятии посредством вычислительной компьютерной сети.

Внешний вид шкафов УСАЭКТ, введенной в эксплуатацию на предприятии, представлен на рисунке 2.



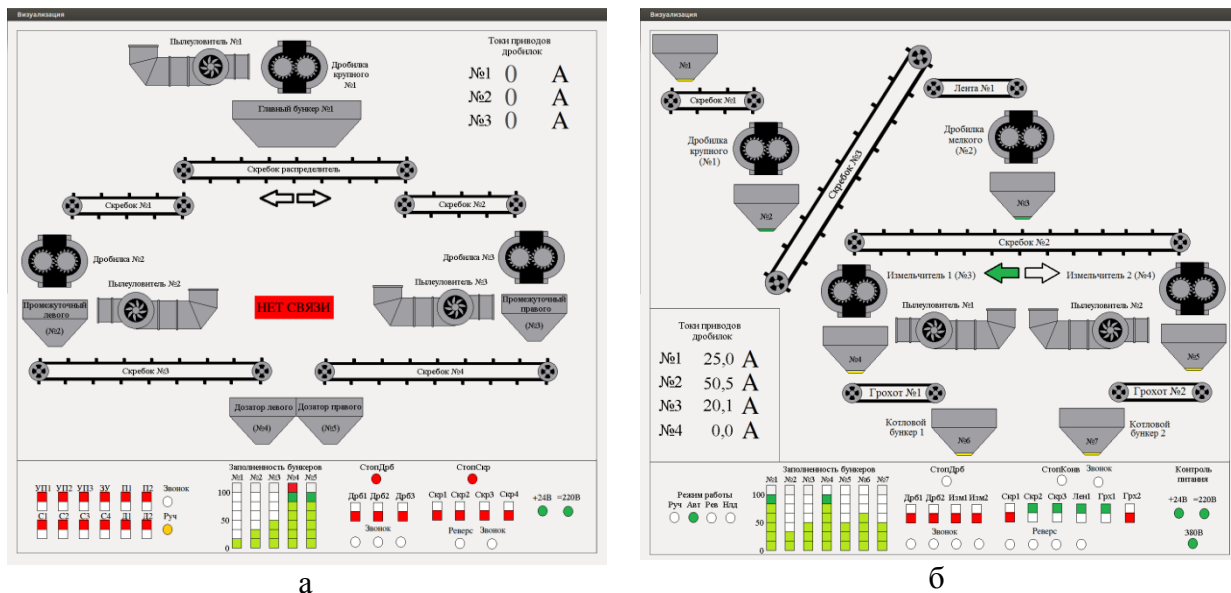
а – АРМ оператора конвейерной линии; б – блок управления конвейером

Рисунок 2 – Унифицированная система управления электроприводом конвейера

На рисунке 3 представлены рабочие экраны АРМ оператора конвейерной линии.

Основное окно АРМ имеет три области: индикаторы аналоговых сигналов, в центре мнемосхема конвейерной линии данного БУК, снизу индикаторы дискретных сигналов и уровни заполнения бункеров.

Согласно требованиям заказчика блок управления конвейером может быть адаптирован индивидуально к каждому объекту.



а – конвейерная линия дозаторной; б – конвейерные линии котельной

Рисунок 3 – Рабочие экраны АРМ оператора конвейерной линии

Внедрение УСАЭКТ позволяет:

- повысить безопасность, надежность и эффективность конвейерной линии;
- заменить громоздкие и менее надежные релейные и полупроводниковые контактные аппараты управления;
- уменьшить затраты на обслуживание;
- упростить настройку параметров приводов конвейера и параметров электрических и технологических защит;
- определять причины, вызвавшие аварийную ситуацию и фиксировать в этот момент основные параметры технологического процесса;
- путём объединения нескольких подобных систем в технологическую сеть, возможно создание АСУ ТП, позволяющей эффективно управлять электроприводами предприятия.

Библиографический список

1. Представление системы технологической автоматики и защит методами теории графов / Островляничик В.Ю., Кубарев В.А. // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией В.Ю. Островляничика. – Новокузнецк, 2014. – С. 63 – 74.
2. Островляничик В.Ю. Автоматизированный электропривод постоянного тока горно-металлургического производства: Учебное пособие. – Новокузнецк, 2004. – 383 с.

К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ В АСУТП ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ

Гудков М.Ю., Кулаков С.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

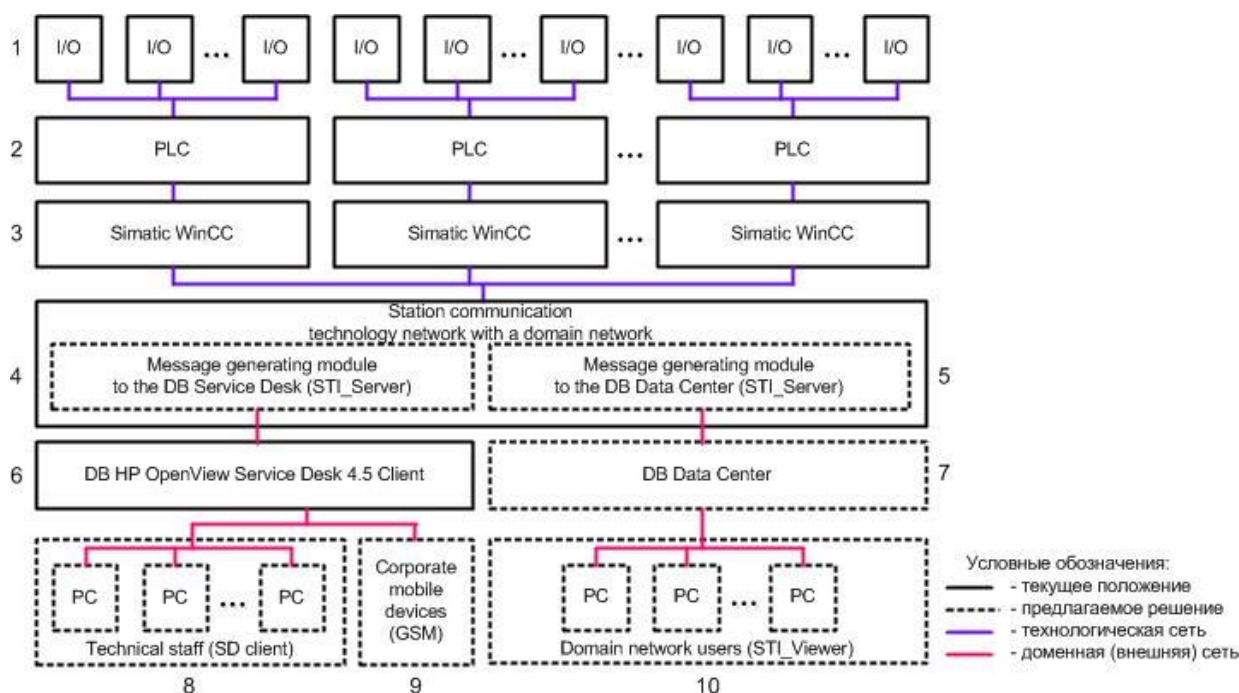
Основная цель управления инцидентами в автоматизированных системах управления технологическим процессом (АСУТП) теплоэлектростанции состоит в оперативном восстановлении работоспособности комплекса технических средств автоматизации и систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) [1], которые в свою очередь обеспечивают бесперебойную и безаварийную работу технологического оборудования (ко-

тельных агрегатов, турбогенераторов, редукционно-охладительных установок и т.д.).

Как показывает практика обслуживания АСУТП, в настоящее время основными причинами, влияющими на качество и надежность работы, являются человеческий фактор при передаче информации об инциденте, низкая оперативность реакции персонала на инцидент вследствие несвоевременного предоставления информации.

Многие инциденты повторяются. Сталкиваясь с ними периодически, можно обобщить накопленный опыт, осуществив классификацию инцидентов и построив стандартные процедуры для обработки инцидентов отдельных классов. Процесс обработки инцидента представляет собой упорядоченную последовательность действий (шагов), которые должны быть выполнены для данного типа инцидента. При таком подходе инциденты устраняются predetermined (стандартным) образом и в predetermined время [2].

Целью работы является разработка и внедрение системы управления инцидентами в существующую систему АСУТП, архитектура предлагаемого решения представлена на рисунке 1.



- 1 – контрольно-измерительные приборы и автоматика; 2 – программируемый логический контроллер; 3 – SCADA-система; 4 – модуль генерации сообщений в базу данных (БД) Service Desk; 5 – модуль генерации сообщений в базу данных центра обработки данных; 6 – БД Service Desk; 7 – БД центра обработки данных; 8 – рабочие станции инженеров по обслуживанию АСУТП с программным модулем SD client; 9 – средство корпоративной мобильной связи инженеров по обслуживанию АСУТП (GSM-телефон); 10 – пользователи доменной сети (мастера, главные специалисты, начальники цехов, главный инженер, директор)

Рисунок 1 – Изменения в действующей структуре АСУТП ТЭЦ

Процесс устранения инцидента, в частности, содержит:

- шаги, которые нужно выполнить при обработке обнаруженного инцидента;
- правила, определяющие порядок выполнения шагов и порядок взаимодействия (специальные интерфейсы) со смежными ИТ-процессами;
- распределение ответственности за выполнение шагов (кто и за что отвечает);
- временные ограничения на выполнение отдельных шагов и пороговые значения параметров для завершения/определения отдельных действий;

- процедуры эскалации (кто с кем и при каких условиях взаимодействует);
- защитные меры, в особенности, относящиеся к инцидентам, связанным с безопасностью и мощностью [2].

Информация об инцидентах поступает в службу SD (service desk) от пользователей, от процесса управления событиями или специальных инструментов процесса управления инцидентами. Инциденты также могут быть выявлены и зарегистрированы техническим персоналом (например, когда последний обнаруживает некорректную работу аппаратного, сетевого или иного оборудования, он сообщает об инциденте – направляет сообщение в службу SD). Устранение инцидента (рисунок 2) предусматривает следующие основные этапы:



Рисунок 2 – Схема процесса устранения инцидентов
300

1) Получение значений технологических параметров от источников данных (рисунок 2, блок 1). На станции связи, ПК расположенном в серверном помещении, осуществляется сбор данных с технологических объектов, источниками данных (тэгов) являются установленные SCADA для решения задач системы «человек-машина» (WinCC v6.0 и выше), в качестве системной базы которых используется MS SQL Server [3]. Сбор данных осуществляется с помощью модуля «Message generating module to the DB Data Center», входящего в разработанную программу STI_Server (рисунок 1, позиция 5).

2) Анализ значений параметров на наличие инцидента (рисунок 2, блок 2). Данный этап выполняется с помощью следующих функций:

- Контроль выхода параметра за пределы пороговых значений отклонения параметра от пороговых значений, установленных правилами технической эксплуатации технологического оборудования, производственно-техническими и технологическими инструкциями, картой уставок параметров, защит и блокировок;

- Контроль превышения скорости изменения параметра.

- Анализ и фильтрация шумов, выбросов.

3) Регистрация инцидента (рисунок 2, блок 3). Все инциденты должны быть зарегистрированы с возможно полной информацией о дате, времени, обстоятельствах, безотносительно к тому, как появились сообщения о них – через службу SD, телефон, e-mail, интранет или как результат работы средств автоматического обнаружения.

Хранилищем данных, в том числе, сообщений об инцидентах для STI_Server является СУБД MS SQL Server, в базе данных которой содержатся следующие объекты (храняемые процедуры и таблицы), требуемые для работы:

- таблица ConfSS, содержащая список подсистем и их настройки;

- таблица TablesName, содержащая список таблиц подсистем;

- процедура STI_GET_DATA, осуществляющая получение данных для отображения, запускается в STI_Viewег пользователями доменной сети;

- процедура SAVE_Points, которая позволяет сохранять определенный набор точек тренда, запускается STI_Server ведущим инженером по обслуживанию систем АСУТП.

- процедура УДАЛЕНИЕ_СТАРЫХ_ДАННЫХ, которая осуществляет удаление данных ранее указанного интервала, запускается с помощью JOB SQL Server. Остальные процедуры и функции носят вспомогательный характер [3].

4) Категоризация (классификация) инцидента (рисунок 2, блок 4). Часть начальной регистрационной информации используется для идентификации и кодирования категории инцидента. Последняя обычно связана с типом ИТ-актива, вызвавшего недоступность сервиса. Категория важна для определения направления эскалации и последующего формирования отчетов для выявления типов и частоты инцидентов с целью определения тенденций, анализ которых требуется для процессов обработки проблем, управления поставщиками и др.

5) Определение приоритета инцидента (рисунок 2, блок 5). Приоритет определяется безотлагательностью (критичностью бизнес-процесса, использующего сервис) и областью воздействия инцидента (количеством пользователей, потерявшим доступ к сервису). В некоторых случаях потеря сервиса для единственного пользователя может иметь большое воздействие:

- опрос пользователя о предпринятых непосредственных действиях на их собственной рабочей станции и удаленном оборудовании;

- взаимодействие со службой SD по анализу предпринятых действий;

- взаимодействие с группами поддержки по действиям и оценкам ситуации;

- взаимодействие с внешними поставщиками.

6) Отправка сообщения об инциденте (рисунок 2, блок 13). Программа STI_Server с помощью дополнительного модуля «Message generating module to the DB Service Desk» (рисунок 1, позиция 4) отправляет сообщения об инцидентах в «HP OpenView Service Desk 4.5» (рисунок 1, позиция 6) – комплексную систему для организации процесса сервисного обслуживания по заявкам в масштабах предприятия. В данной системе созданы группы поль-

зователей (технических специалистов), которым адресуются соответствующие сообщения, например, персоналу группы пирометрии сообщения по температурам теплоносителей, поверхностям нагрева, среды и т.д.

Отправка сообщения об инциденте в центр обработки данных реализуется с помощью модуля «Message generating module to the DB Data Center» (рисунок 1, позиция 5).

Просмотр технологической информации с БД центра обработки данных в виде графиков и сообщений осуществляется пользователями доменной сети посредством клиентской части программы STI_Viewer (рисунок 1, позиция 10).

7) Закрытие инцидента (рисунок 2, блок 16). Служба SD обязана проверить, что инцидент полностью разрешен, что пользователи удовлетворены и согласны закрыть инцидент. При этом она должна выполнить следующие действия:

- проверить категорию закрытого инцидента и убедиться, что присвоенная начальная категория инцидента корректна, или исправить категорию, согласовав ее с разрешающей инцидент группой;

- выполнить телефонный или e-mail-опрос удовлетворенности пользователей;

- документировать инцидент, при этом возможно полно отразить информацию об инциденте в системах учета и базе знаний;

- определить, связан ли инцидент с новой или известной «проблемой». Если инцидент может повториться, необходимо рассмотреть возможные превентивные действия (например, сделать запись о «проблеме», чтобы инициировать необходимые действия).

Итоги внедрения системы управления инцидентами применительно к Западно-Сибирской ТЭЦ – филиалу ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»:

- увеличилась оперативность реакции персонала цехов на инцидент;

- статистический анализ по типам инцидентов способствует разрабатывать корректирующие мероприятия;

- снизилась вероятность хищения технических средств автоматизации, в том числе коммутационных материалов;

- появилась возможность разработки и дальнейшего расширения базы знаний по идентификации инцидентов, сигнатурам девиации поведения параметров для заблаговременного предупреждения об инциденте, способам его устранения.

Библиографический список

1. Дмитрий Теркель. OLE for Process Control – свобода выбора // Современные технологии автоматизации. – 1999. – № 3. – С. 28 – 32.
2. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL): учеб. пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2013. – 500 с.
3. Microsoft SQL Server 2012. Создание запросов. Учебный курс Microsoft: учеб. пособие / И. Бен-Ган, Д. Сарка, Р. Талмейдж. – М.: Издательство «Русская редакция», 2014. – 720 с.: ил. + CD-ROM.

СПОСОБ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В СИСТЕМАХ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

Гудков М.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Непосредственной причиной взрыва пылевоздушной смеси в системах пылеприготовления теплоэлектростанций (ТЭЦ) является наличие источников зажигания, прежде

всего тлеющих отложений пылеугольного топлива (ПУТ) внутри оборудования и элементов установки. Возникновение очагов тления в отложившейся пыли возможно уже при содержании кислорода в окружающей газовой среде более 3 %.

Особую опасность представляет взвихривание тлеющих отложений ПУТ в бункере хранения пыли (БП) системы пылеприготовления (рисунок 1) при пуске, останове в резерв или ремонте оборудования.

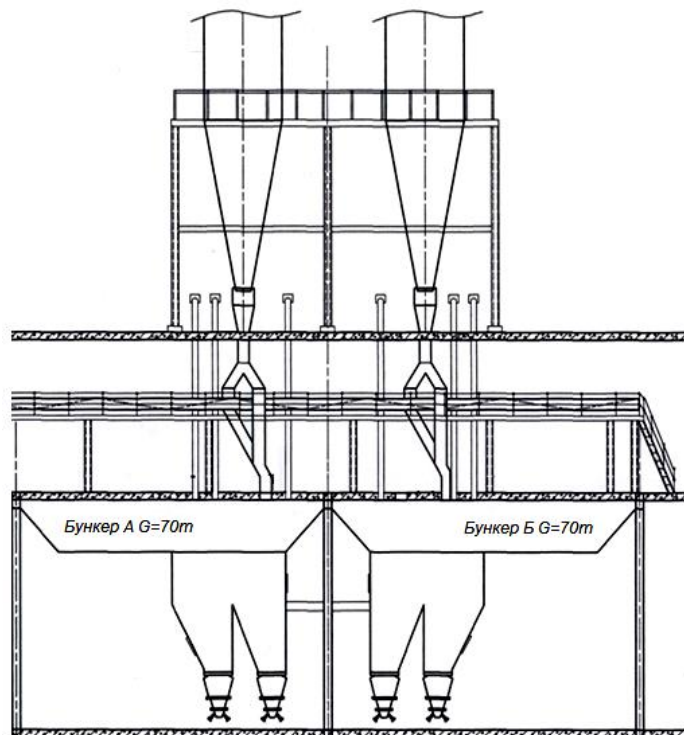


Рисунок 1 – Фрагмент схемы узла пересыпки ПУТ в БП

Согласно [1, с. 10, 19] для реализации измерения уровня ПУТ в БП необходимо учесть следующие основные требования:

- БП должен оснащаться приборами и устройствами для измерения уровня вещества не менее чем в четырех точках по высоте БП (для действующих установок измерения уровня в БП производится по месту) [1, с. 10, п. 3.5.4];

- при работе системы пылеприготовления и котельного агрегата необходимо поддерживать уровень ПУТ в БП, не допуская их снижения ниже допустимых пределов, указанных в местной инструкции [1, с. 19, п. 5.3.5].

Целью данной работы является разработка метода косвенного контроля уровня ПУТ в системах пылеприготовления ТЭЦ.

Правильность выбора технического решения по обеспечению взрывобезопасности системы пылеприготовления определяется следующими критериями:

- учет при монтаже контрольно-измерительных приборов (КИП) условий работы, особенности установки и геометрические характеристики БП;

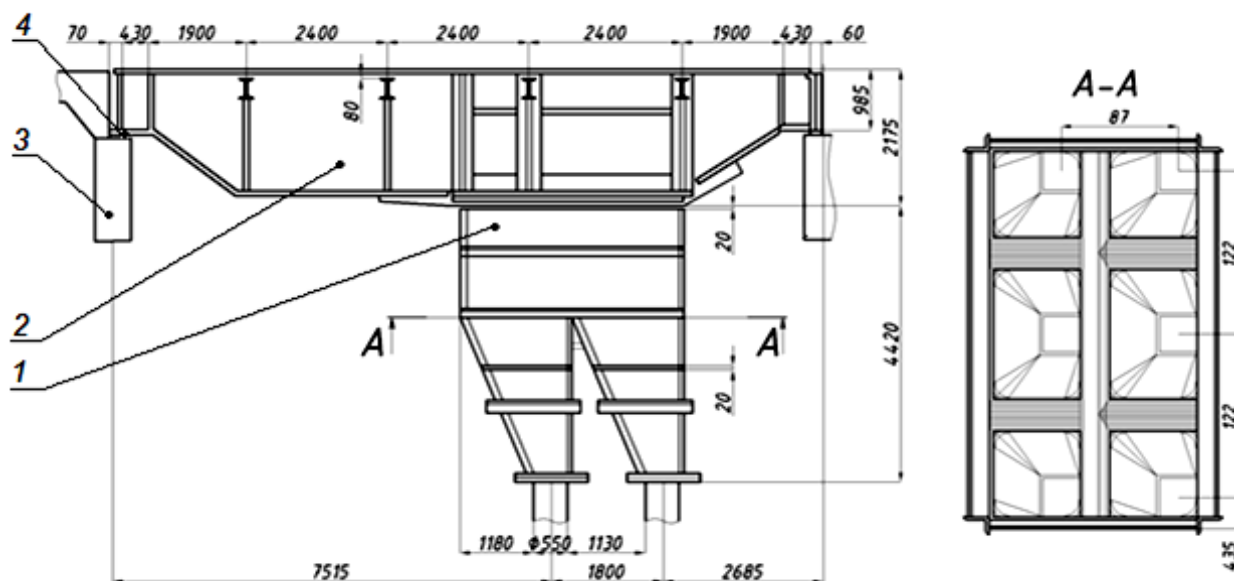
- обеспечение требуемой точности измерения уровня (не более $\pm 5\%$);

- снижение затрат на товарно-материальные ценности, строительно-монтажные работы и дальнейшую эксплуатацию КИП;

- легкость и простота в техническом обслуживании КИП;

- унифицированность оборудования КИП, применяемого в ТЭЦ.

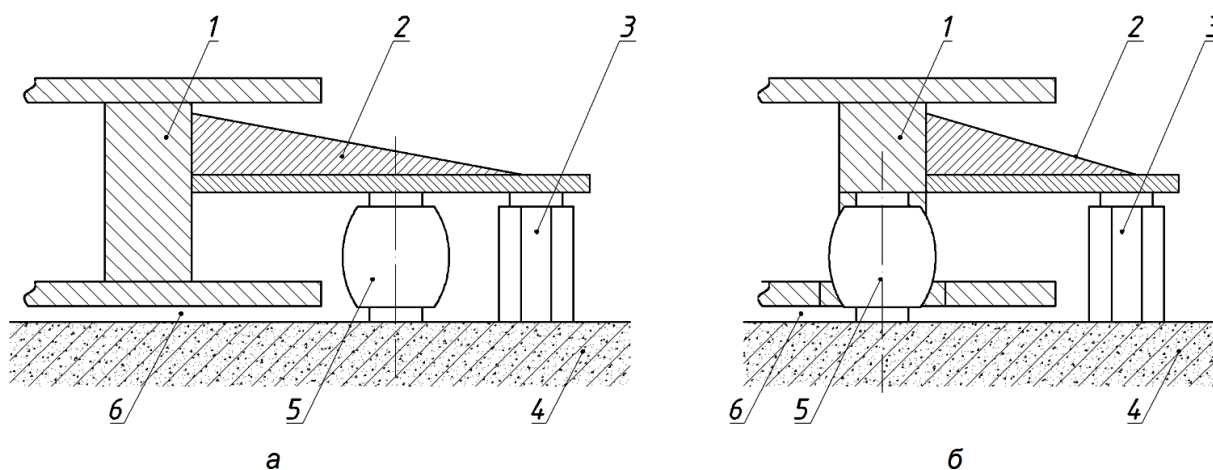
В данной работе на основе анализа известных способов измерения ПУТ выбрано техническое решение, удовлетворяющее перечисленным ранее условиям.



1 – бункер пыли; 2 – сварная двутавровая балка; 3 – ригель;
4 – место установки датчика давления

Рисунок 2 – Чертеж бункера хранения ПУТ (геометрические размеры)

Две двутавровые сварные балки (рисунок 2, позиция 2) расположены на ригелях (рисунок 2, позиция 3), между последними смонтирован бункер (рисунок 2, позиция 1), который имеет 6 отводов в нижней части, с установленными на них пылепитателями. Между ригелем и балкой (рисунок 2, позиция 4) устанавливается тензометрический датчик давления (4 шт. под каждый конец балки, возможно и другое количество, тогда необходимо соответствующее корректирование показаний). На рисунке 3 представлено два варианта монтажа тензометрических датчиков.



а – с использованием дополнительного усиления;

б – монтаж с изменением конструкции сварной двутавровой балки

1 – сварная двутавровая балка; 2 – конструкция с усилением 50 – 100 кН; 3 – установка домкрата; 4 – ригель; 5 – тензодатчик (ход 0,8 мм); 6 – величина зазора 2 – 5 мм

Рисунок 3 – Схемы установки тензометрических датчиков

Для представленной схемы установки тензодатчиков функция встроенной цепи выравнивающих резисторов (рисунок 4) позволяет упростить компенсацию смещенной нагрузки для весов, если она необходима. Компенсация производится в три шага:

- угловая нагрузка весов.
- чтение корректирующего значения с диаграммы (инструкции по монтажу).
- активация компенсирующего сопротивления.

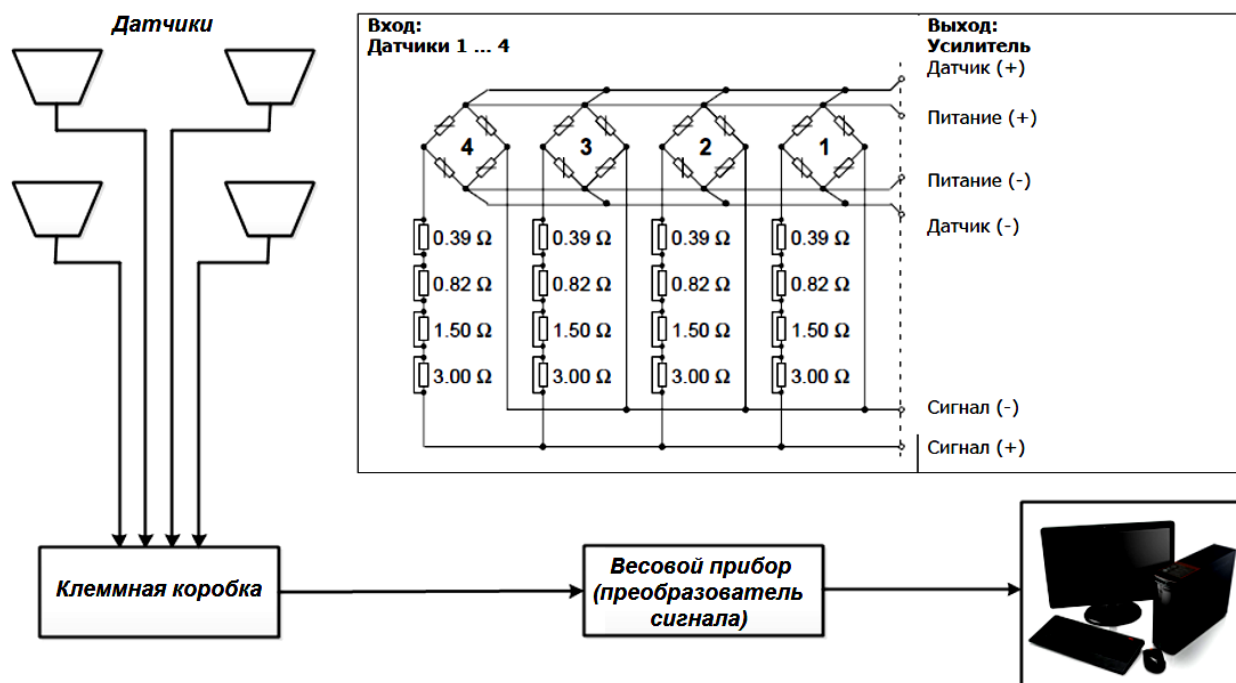


Рисунок 4 – Схема комплекса технических средств (показана условно) и принципиальная схема цепи резисторов в соединительной коробке для компенсации смещенной нагрузки с 4-мя датчиками

Для повышения точности измерения веса в данном способе предлагается использовать тестовые методы [2], сущность их заключается в определении оценки измеряемой величины (веса ПУТ) при помощи дополнительных преобразований тестов, каждый из которых является некоторой функцией неизвестной измеряемой величины. Указанная особенность обеспечивает целый ряд преимуществ по сравнению с традиционным определением текущих параметров системы и нахождения оценок, основными из которых являются: отсутствие необходимости в отключении измеряемой величины от входа измерительной системы (ИС); существенное ограничение числа тестов при нелинейной функции преобразования исходной ИС, обусловленной тем, что измеряемая величина фактически транспонирует тесты в соответствующий отрезок функции преобразования; возможность уменьшения погрешности результата измерения, связанной с неизмеряемыми параметрами объекта измерения [3].

Полученный вес ПУТ с применением тестового метода после вычета веса незаполненного БП (вес бункера известен) переводится в условный «осредненный» уровень с помощью разработанного алгоритма оценивания уровня. В разработанном алгоритме учитываются геометрические размеры БП, процент заполнения емкости по максимальной массе ПУТ, плотность по марке угля в диапазоне температуры среды (40 – 75 °С), угол естественного откоса ПУТ. Для свеженасыпанной угольной пыли угол естественного откоса колеблется для различных топлив в небольших пределах и составляет 25 – 30 градусов в зависимости от рода топлива и тонкости помола [4].

Последовательность установления «нуля» системы следующая:

– в период технологического останова оборудования (котельного агрегата) производится опустошение БП;

– измеряется вес пустого БП (вес тары) с использованием метода тестирующих воздействий для повышения точности;

– устанавливается «нуль» системы по весу и уровню;

– во избежание налипания вещества на стенки БП производится запуск магнитоимпульсной установки сводообрушения с заданной периодичностью.

Принцип действия магнито-импульсной установки сводообрушения следующий: силовой блок генерирует мощный импульс тока в обмотку индуктора; магнитное поле индуктора, созданное этим током, индуцирует импульс тока в плите, установленной вблизи индуктора; в результате взаимодействия импульсных токов, протекающего по обмотке индуктора и наведенного в плите, плита оказывает импульсное механическое воздействие на очищаемую поверхность, что приводит к возникновению локальной упругой деформации в очищаемой поверхности, а в толще налипшего материала - к возникновению напряжений сдвига. Совместное действие этих процессов нарушает целостность слоя налипшего материала, разрушает адгезию материала к очищаемой поверхности и приводит к ее очистке. Сила механического воздействия и количество импульсов регулируются и выбираются достаточными для гарантированного обрушения налипших материалов.

При очистке поверхности (стенки бункера) последовательно на каждый задействованный канал установки (пару исполнительных механизмов) подается серия импульсов, количество импульсов в серии и интервал между ними регулируются, обычно 3 – 6 импульсов в серии с интервалом 3 – 8 секунд между импульсами. После последовательной подачи серий импульсов на все задействованные каналы установка переходит в режим ожидания. Следующая подача импульсов в исполнительные механизмы происходит согласно установленному режиму работы (либо от ручного сигнала, либо от сигнала датчика, либо по установленной программе).

Достоинства данного решения в относительно невысокой стоимости по сравнению с радарными и т.п. уровнемерами, в точном измерении веса ПУТ в БП, что неосуществимо с использованием уровнемеров. С точки зрения удобства в эксплуатации датчик находится в благоприятной среде (снаружи), следовательно, нет необходимости создавать специальные защитные конструкции и часто обслуживать его в течение всего периода эксплуатации. Для сравнения стоит сказать, что уровнемеры устанавливаемые внутри БП работают в достаточно агрессивных условиях: температура среды 40 – 75 °С, запыленность 100 – 250 мг/м³, неравномерность наполнения емкости. Предоставляется возможность интеграции сигналов в АСУТП и ввода дополнительных параметров, таких как производительность мельниц, пылепитателей и т. п.

Основным недостатком представленного способа может быть значительная сложность установки датчика на существующий БП, т.к. при строительстве нового датчика разрабатывается устройство его крепления, которое затем монтируется вместе с БП.

Библиографический список:

1. СО 153-34.03.352-2003 - Инструкция по обеспечению взрывобезопасности топливоподачи и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива от 24 июня 2003 г. № 251
2. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978 – 176 с., ил.
3. Андрианов О.Н. Алгоритмизация идентификационно-тестовых систем технологических измерений в черной металлургии: диссертация кандидата технических наук. Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, 2000.
4. Рабинович О.М. Котельные агрегаты. М. – Л., Машгиз, 1963. 460 с., ил.

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ УСТАВОК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ (НА ПРИМЕРЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «КИСЛОРОДНЫЙ КОНВЕРТЕР – АГРЕГАТ КОВШ-ПЕЧЬ»)

Бондарь Н.Ф., Тараборина Е.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, Россия*

При производстве стали в условиях комплекса «кислородный конвертер-агрегат ковш-печь» большое значение имеет соответствие выпускаемой продукции установленным характеристикам (по химическому составу, температуре, массе). В условиях нестационарной работы конвертера и агрегата «ковш-печь», а также неполной информации о параметрах исходных материалов попасть в указанный в технологической инструкции диапазон достаточно сложно.

При подготовке к проведению плавки технологом, из указанных в инструкции диапазонов выбираются значения, ориентируясь на которые он подбирает необходимые массы сырья, добавок, объема продувки. В зависимости от выбранных параметров неизбежные отклонения могут всё же оказаться в пределах заданного диапазона, а могут выйти за него. С экономической точки зрения все отклонения от нормы могут быть оценены в виде затрат на их преодоление.

Исходя из эмпирических данных о прошлых плавках стали и построенной функции потерь (затрат), можно определить значения уставок, ориентация на которые при ведении плавки приводит к минимальным потерям на доводку или переназначение марки стали. Метод оптимума номинала [1, 2] позволяет выбрать такие численные значения конкретных параметров (переменных) процесса (объекта, системы), которые соответствуют минимуму средних потерь.

В данной работе задача оптимизации многомерного задания решалась для нескольких параметров готовой стали. В качестве примера были выбраны следующие параметры: содержание углерода, содержание серы, содержание кремния, температура. Этот случай соответствует четырехмерной задаче оптимизации. Средние значения этих параметров для рассмотренной выборки плавков могут быть представлены в виде графика показанного на рисунке 1.

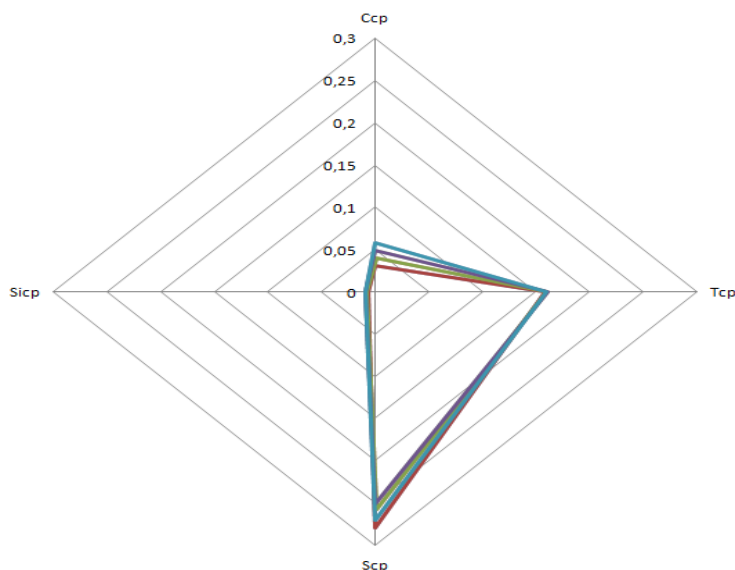


Рисунок 1 – Средние значения рассматриваемых параметров стали марки 06YU

Анализ натуральных данных показал, что значение содержания кремния меняется незначительно, поэтому задача оптимизации сведена к трехмерной и решалась путем её декомпозиции на две подзадачи. А именно, на двухмерную подзадачу оптимизации задания в пространстве «содержание углерода–температура» и двухмерную подзадачу оптимизации в пространстве «содержание серы–температура».

Расход материалов и затраты времени на проведение доводки плавки в агрегате «ковш-печь», показатели производительности и электропотребления считаются известными. При разработке алгоритмического обеспечения системы оптимизации уставок необходимо предусмотреть возможность внесения изменений в эти показатели. В качестве примера для расчета была выбрана марка стали 06YU.

Алгоритм оптимизация уставок в координатах «содержание углерода–температура» [3] включает следующие действия:

1. На основе анализа эмпирических данных найти максимальные и минимальные значения оптимизируемых параметров (содержание углерода в расплаве, температура):

$$C_{\max}=0,059 \% ; C_{\min}=0,026 \% , T_{\max}=1606 ^\circ\text{C} , T_{\min}=1579 ^\circ\text{C} \quad ,$$

2. Разбить диапазон изменения значений содержания углерода и температуры на n и m отрезков соответственно, исходя из требуемой точности расчёта уставок.

3. Для каждого элементарного прямоугольника таблицы «углерод-температура» определить поправки ΔC , ΔT , необходимые для получения стали заданной температуры и углерода.

4. Определить число попаданий исходных данных в каждый прямоугольник плоскости «углерод-температура». Рассчитать оценку вероятности попадания в конкретный прямоугольник, т.е. построить двухмерную гистограмму «углерод – температура».

5. Исходную точку «прицеливания» выбрать исходя из срединных значений углерода и температуры ($C_0 = 0,039 \%$, $T_0 = 1596 ^\circ\text{C}$).

6. Для каждого прямоугольника рассчитать значения необходимых поправок при доводке плавки до нормативных показателей: $\Delta C, \Delta T$ и стоимость доводки B_{ij} .

7. Вычислить риск в каждом прямоугольнике в условиях ориентации на точку C_0, T_0 и суммарный риск: $R = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N r_{ij}$, где i, j – номер строки и столбца таблицы «углерод-температура» (таблицы «У – Т»).

8. Определить средний риск: $R_{cp} = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N r_{ij}$, где D – количество ячеек в таблице

«У – Т».

9. Найти возможные координаты C_{ij} , T_{ij} новых «точек прицеливания»

$$C_j = C_0 \pm \Delta C_{ij}, T_{ij} = T_0 \pm \Delta T_{ij}; C_{ij} = 0,039 \pm 0,01 \%, T_{ij} = 1596 \pm 5 ^\circ\text{C}.$$

10. Для всех прямоугольников двухмерной гистограммы, попадающих в область допустимых решений, выполнить смещение прямоугольника заданий на углерод расплавления ΔC_{ij} и температуру ΔT_{ij} . Повторить всю процедуру для новых данных. Производить смещение «точек прицеливания» до тех пор, пока не будут найдены оптимальные значения, соответствующие минимальному среднему риску.

11. В данном примере минимальное значение среднего риска R_{ij} достигнуто при оптимальных уставках $T = 1590 ^\circ\text{C}$; $C = 0,059 \%$, на которые следует ориентироваться при доводке стали.

Изменение финансовых потерь при отклонениях по температуре в пределах рассматриваемого диапазона решений значительно больше, чем изменение при отклонениях по углероду. Это связано с тем, что для изменения значения углерода требуется на 1 – 2 порядка меньше материальных ресурсов, чем на изменение температуры.

Аналогичный расчет следует произвести и для двухмерного распределения вероятностей в координатах «сера–температура». При проведении этого расчета выяснено, что оптимальной точкой, на которую следует ориентироваться при формировании задания, явля-

ется $T = 1590$ °С, $S = 0,008$ %. При этом затраты на доводку одной плавки составляют 64282,6 руб.

По результатам расчета видно, что традиционный способ выработки задания, а именно принятие за основу значений параметров, находящихся в центре допустимого диапазона, указанного в стандарте на химсостав готовой стали, не является оптимальным.

Значения-ориентиры (уставки) не должны быть выбраны один раз, их необходимо пересматривать при поступлении новых данных о проведенных плавках, изменениях в работе сталеплавильных агрегатов, качестве сырья, норм технологии доводки, цен на ресурсы и показателей, влияющих на затраты. Предложенный метод позволяет пересчитывать значения уставок при реализации любых вышеперечисленных изменений.

Библиографический список

1. Горелова Г.В. Метод оптимума номинала и его применение/ Г.В. Горелова, В.В. Здор, Д.В. Свечарник. – М.: «Энергия», 1970. – 200 с.
2. Авдеев В.П. О вероятностной оптимизации заданий управляющим системам технологических процессов/ В.П. Авдеев, Т.В. Киселева, С.М. Кулаков, Л.П. Мышляев, Ю.А. Сарапулов, Б.М. Барсуков// Изв. вузов. Черная металлургия – 1974. - № 4. – С. 183-186.
3. Бондарь Н.Ф. Задача оптимизации уставок на содержание углерода и температуру конвертерной стали/ Н.Ф. Бондарь /Труды Всероссийской конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве».- Новокузнецк, 2005. – С.155-158.

**СЕКЦИЯ 3.
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ WEB-СЕРВИСЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ*

Лавров В.В., Бурыкин А.А., Щипанов К.А., Гурин И.А.

*Уральский федеральный университет,
г. Екатеринбург, Россия*

Информация в современном мире превратилась в один из наиболее важных ресурсов, а информационные системы стали необходимым инструментом практически во всех сферах деятельности человека. Одним из ключевых факторов успешного создания, внедрения и эксплуатации информационных систем является взаимодействие между людьми, участниками информационных процессов. Например, специалисту по информационным технологиям необходимо в совершенстве владеть средствами наглядной формализации своих мыслей, представления проектных решений, давая возможность сконцентрироваться не только на концептуальных идеях, но и на представлении результатов работы заказчиком, пользователям информационных систем. Современные информационные технологии, в частности web-сервисы на основе технологии Web 2.0 и выше, являются именно тем средством, которые могут сделать это взаимодействие исключительно эффективным.

Стандарт Web 2.0, как известно, предполагает изменение принципов работы обычных программных продуктов. Повсеместное использование специальных интерфейсов приводит к тому, что привычные приложения (онлайновые текстовые редакторы, табличные процессоры, графические редакторы, органайзеры и пр.) начинают работать через браузер. В результате этого достигается полная мобильность пользователя и независимость от установленного на его компьютере прикладного программного обеспечения – достаточно иметь доступ к Интернет, и можно работать точно так же, как с обычным компьютером с установленными на нем приложениями. В этом случае все приложения будут доступны через браузер, а пользователю нужны только операционная система, сам браузер и доступ к Интернету.

Ниже представлен опыт преподавания отдельных web-сервисов в курсах «Информатика» и «Введение в специальность» для бакалавров, обучающихся по направлению «Информационные системы и технологии» на кафедре «Теплофизика и информатика в металлургии» Уральского федерального университета.

В соответствии с учебным планом и рабочей программой дисциплины студенты выполняют практические работы по следующим темам:

- «Изучение инструментов создания таймлайна (хроники)»;
- «Изучение сервиса создания интеллектуальных карт Mind map»;
- «Изучение сервиса создания инфографики»;
- «Изучение сервиса интерактивной разметки изображений»;
- «Изучение сервиса проведения онлайн-анкет и опросов»;
- «Изучение сервиса хранения и представления презентаций».

Прокомментируем кратко назначение каждого сервиса, суть практического задания и фрагменты результатов выполнения практических работ.

1. Изучение инструментов создания таймлайна (хроники). Таймлайны – это сервисные программы, позволяющие создавать и просматривать временные события в хронологическом порядке, с возможностью добавления текста, изображений, видео и гиперссылок. Большинство хроник используют линейную шкалу, где единица расстояния равна опреде-

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

ленному периоду времени. Масштаб отображения хроники зависит от событий на временной шкале. Хронология эволюции может быть в течение миллионов лет, в то время как дневной график может быть отображен в минутном масштабе.

Для выполнения задания студентам необходимо:

– зарегистрироваться на сайте, предоставляющем услуги создания таймлайна. Наиболее известные программы Dipity.com (www.dipity.com), Timetoast (www.timetoast.com), Tiki-Toki (www.tiki-toki.com);

– создать таймлайн по выбранной теме. Каждый этап представить текстом, изображением, гиперссылкой и видео;

– представить таймлайн в интернете и прислать ссылку преподавателю.

В качестве тем заданий студентам предлагается составить хронологию жизни знаменитых людей, внесших существенный вклад в развитие математики, физики, химии, металлургии, IT-отрасли и др. Фрагменты выполненных заданий представлены на рисунке 1.

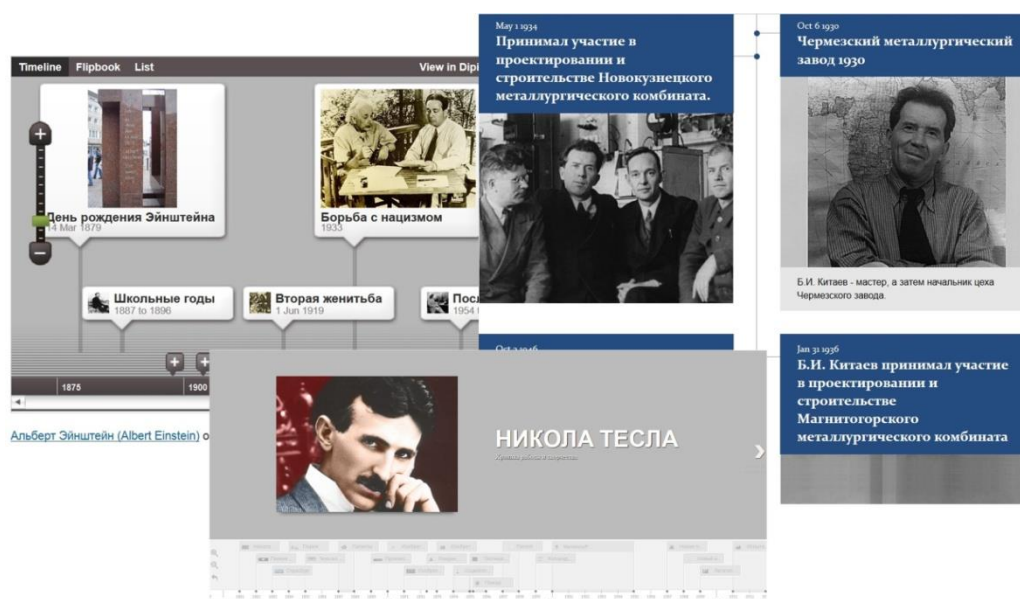


Рисунок 1 – Фрагменты студенческих работ по изучению сервиса создания таймлайнов

2. Изучение сервиса создания интеллектуальных карт Mind map. Сервис Mind map предоставляет способ изображения процесса общего системного мышления с помощью схем и может использоваться как удобная техника альтернативной записи.

Диаграмма связей реализуется в виде древовидной схемы, на которой изображены слова, идеи, задачи или другие понятия, связанные ветвями, отходящими от центрального понятия или идеи. В основе этой техники лежит принцип «радиантного мышления», относящийся к ассоциативным мыслительным процессам, отправной точкой или точкой приложения которых является центральный объект (радиант – точка небесной сферы, из которой как бы исходят видимые пути тел с одинаково направленными скоростями, например, метеоров одного потока). Это показывает бесконечное разнообразие возможных ассоциаций и следовательно, неисчерпаемость интеллектуальных возможностей мозга.

Подобный способ записи позволяет диаграмме связей неограниченно расти и дополняться. Диаграммы связей используются для создания, визуализации, структуризации и классификации идей, а также как средство для обучения, организации, решения задач, принятия решений, при написании статей.

На русский язык термин может переводиться как «карта мыслей», «интеллект-карта», «карта памяти», «ментальная карта», «ассоциативная карта», «ассоциативная диаграмма», «диаграмма связей» или «схема мышления».

Для выполнения задания студентам необходимо:

- зарегистрироваться на сайте www.mindmeister.com/ru/;
 - создать Mind map по выбранной теме;
 - представить Mind map в интернете и прислать ссылку преподавателю.
- Фрагменты выполненных заданий представлены на рисунке 2.

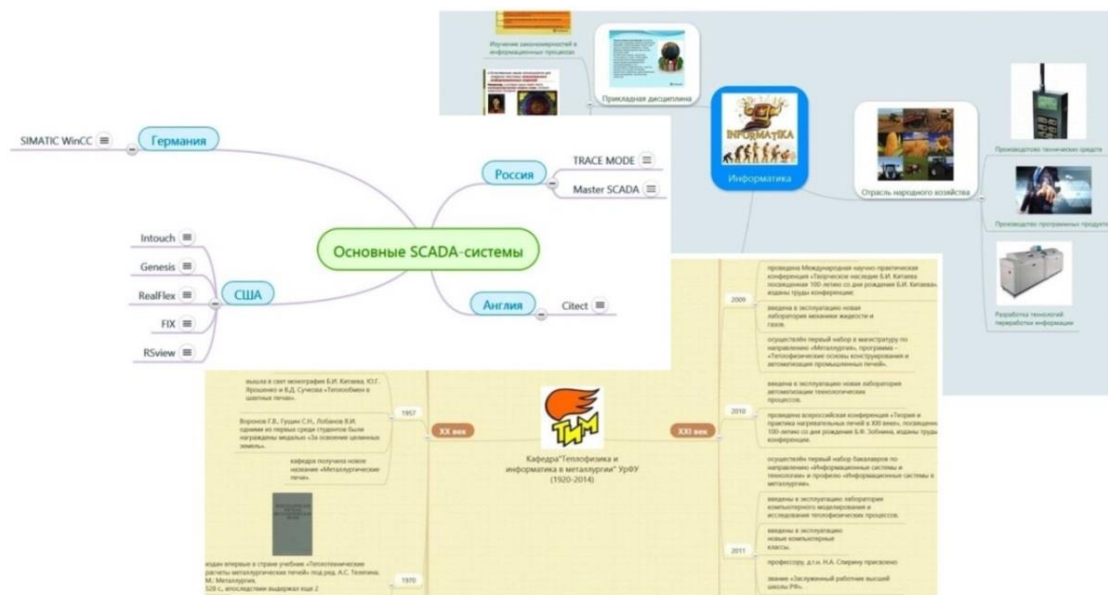


Рисунок 2 – Фрагменты студенческих работ по изучению Mind map

3. Изучение сервиса создания инфографики Infogr.am. Infogr.am – это сервис для быстрого и несложного создания инфографики, т.е. графического способа подачи информации, данных и знаний. Инфографикой можно назвать любое сочетание текста и графики, созданное с намерением изложить ту или иную историю, донести тот или иной факт. Инфографика работает там, где нужно показать устройство и алгоритм работы чего-либо, соотношение предметов и фактов во времени и пространстве, продемонстрировать тенденцию, показать как что выглядит, структурировать большие объемы информации.

По способу отображения инфографики сервис Infogr.am относится к динамической инфографике, которая в отличие от статичной включает в себя анимированные изображения, презентации.

Регистрация на сайте занимает меньше минуты, существует также возможность начать пользоваться сервисом, заходя туда со своего аккаунта в Twitter'е или Facebook'е. После входа сразу же можно приступать к работе: создавать инфографику или диаграммы.

Сервис Infogr.am представляет собой простой и в то же время достаточно функциональный инструмент для визуализации данных. Главное его достоинство состоит в том, что любой пользователь, пусть даже не обладающий какими-либо сведениями в области программирования и дизайна, сможет создать красивую интерактивную инфографику для использования в докладе, презентации или на сайте.

Для выполнения задания студентам необходимо:

- зарегистрироваться на сайте <https://infogr.am/>;
- создать инфографику по выбранной теме, включая диаграммы и видеофрагменты;
- прислать преподавателю ссылку на свою работу.

Фрагменты выполненных заданий представлены на рисунке 3.

4. Изучение сервиса интерактивной разметки изображений ThingLink.com. ThingLink является платформой для создания интерактивных изображений и видео для веб-сайтов, например образовательных каналов.

Интерактивная графика, подготовленная с помощью сервиса Thinglink, используется для наглядной демонстрации на сайте отдельных элементов графического изображения. Все

элементы помечены специальными символами. При наведении на символы изображения как бы «оживают»: появляется дополнительная информация с видео, поясняющим текстом, крупным планом изображения, музыкой и др.



Рисунок 3 – Фрагменты студенческих работ по изучению сервиса Infogr.am

Дополнительным способом использования сервиса Thinglink является создание «псевдо-интерактивных» карт. Это не интерактивная карта в полном смысле, а скриншот с нанесенными на него всплывающими точками. Скриншот карты невозможно увеличить или уменьшить, однако можно предоставить детальные пояснения различных точек на карте или указать маршрут движения.

Поделиться интерактивным изображением ThingLink можно в Twitter, Facebook и Tumblr. Пользователя Facebook может коснуться изображения и взаимодействовать с контентом, не выходя Timeline. Также сделать любой ThingLink изображение интерактивное приложение на Facebook.

Для выполнения задания студентам необходимо:

- зарегистрироваться на сайте www.thinglink.com;
- создать одно фотоизображение с элементами интерактивной разметки по выбранной теме;
- прислать преподавателю ссылку на созданную интерактивную картинку.

5. Изучение сервиса проведения онлайн-анкет и опросов. Сервис SurveyMonkey – это программное обеспечение для создания онлайн-анкет и опросов. Для работы с сервисом требуется регистрация через почтовый адрес или через аккаунты в Facebook или Google.

Данный сервис, как правило, используют для проведения онлайн-опросов мнений, опросов по исследованию рынка, опросов по планированию мероприятий, опросы сотрудников для получения обратной связи, для оценки уровня удовлетворенности работой, для составления рейтингов, для сборов отзывов и др.

Сервис SurveyMonkey предоставляет бесплатную и платные версии. В бесплатной версии предоставлена возможность задать 10 вопросов на 1 опрос, прикрепить 100 ответов на опрос. Можно вставить картинку. Опросы можно создать в 16 вариантах. Есть приложение для Facebook – активируется на страницах сообществ, на которых сразу можно создавать опросы. Можно собирать данные по weblink, электронной почте, Facebook. Можно разместить опрос на веб-сайте или в блоге, встроив код.

Результаты можно посмотреть в реальном времени, также можно посмотреть статистику участвовавших в опросе пользователей. Анализ результатов позволяет:

- просматривать результаты в реальном времени;
- фильтровать, составлять перекрестные таблицы и создавать графическое представление результатов;

- экспортировать ответы во множестве форматов.

Для выполнения задания студентам необходимо:

- зарегистрироваться на сайте ru.surveymonkey.com;
- создать онлайн-опрос по выбранной теме;
- разослать опрос своим друзьям, знакомым, коллегам и др. Полученные ответы проанализировать с помощью встроенных визуальных средств SurveyMonkey и прислать преподавателю скриншот с результатами анализа.

6. Изучение сервиса хранения и представления презентаций. Сервис Slideshare – это социальный сервис, который позволяет конвертировать презентации в формате PowerPoint в формат Flash, хранить и использовать презентации, комментировать, обмениваться знаниями, находить единомышленников.

В настоящее время Slideshare – это огромное хранилище публичных презентаций, где любой пользователь сети Интернет может найти презентацию на интересующую тему, используя ключевые слова. Каждую презентацию, хранящуюся в SlideShare, можно:

- просмотреть в полноэкранном режиме;
- послать по электронной почте;
- сохранить на своем компьютере;
- разместить на любом сайте.

Основные возможности SlideShare:

- загрузка с компьютера презентаций в форматах PowerPoint, PDF и OpenOffice, а также видео для хранения и дальнейшего личного, либо совместного использования. При загрузке в SlideShare каждая презентация конвертируется в формат Flash;

- создание групп презентаций по темам и обсуждение их в сети.

Преимущества использования сервиса Slideshare:

- презентация, выложенная в сеть, никогда не будет забыта на флешке перед важной встречей;

- выслать коллеге по почте ссылку на страницу Slideshare намного спокойней, чем отправлять файлы размером в десятки Мб, а затем уточнять у коллеги, пропустил ли это письмо чей-то корпоративный почтовый сервер;

- Slideshare индексируется Google. Поэтому заинтересованные люди получают дополнительную, качественно подготовленную информацию;

- презентации можно распространять точно так же, как и видео-ролики: сервис Slideshare предоставляет готовый Embed-код для вставки на сайт. Выставляя код на личной странице, например, в социальной сети и по профильным сообществам можно получить охват в сотни, тысячи человек.

Для выполнения задания студентам необходимо:

- подготовить презентацию с иллюстрацией своих результатов выполнения всех практических заданий;

- зарегистрироваться на сайте <http://www.slideshare.net> и выставить свою презентацию;

- прислать преподавателю ссылку на презентацию.

Фрагменты выполненных студентами практических заданий представлены на странице персонального сайта преподавателя <http://vlavrov.com/uchebnaya-rabota/uchebnyedistsipliny/informatika/informatika-prakticheskyye/informatika-prakticheskyya-primery>.

Таким образом, освоение студентами современных web-сервисов значительно повысит квалификационный уровень бакалавров по направлению «Информационные системы и технологии», даст им необходимые знания и мощный инструментарий, сделает их востребованными и конкурентоспособными специалистами на рынке IT-технологий.

СОВРЕМЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ

Гулевич Т.М., Феоктистов А.В., Ляховец М.В., Федотов А.А., Макаров Г.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В современных условиях активного развития открытого образования остро встают вопросы создания и поддержки информационно-образовательной среды вуза, обеспечивающей едиными технологическими средствами информационное сопровождение и организацию учебного процесса, научных исследований, профессионального консультирования обучающихся.

Основой современных автоматизированных обучающих комплексов являются технологии удаленной работы с ресурсами вуза, которые могут использоваться как вспомогательный (для лучшего усвоения знаний студентами очной и очно-заочной форм обучения), так и базовый (в обучении студентов заочной формы обучения, студентов филиалов и представительств вуза) инструментарий. С расширением сети филиалов технологии дистанционного обучения приобретают особое значение, обеспечивая работу обучаемых всего региона с единой информационной и программно-технической базой головного вуза, позволяя поддерживать требуемый уровень качества обучения, особенно при недостаточной учебно-лабораторной базе.

Особо важное значение в подобных информационных сетях уделяется таким структурным элементам как виртуальные представительства кафедр [1], информационные базы, комплексы программ которых реализуют типовой набор сервисных образовательных услуг и обеспечивают поддержку учебного процесса по дисциплинам кафедры через корпоративную сеть. Наиболее целесообразным представляется построение таких представительств в форме автоматизированных обучающих комплексов (АОК), объединяющих методические указания и пособия, автоматизированные лабораторные установки, принатурные тренажеры [2], нормативные модели деятельности обучаемых и обучающихся, функции согласованного их стимулирования с точки зрения достижения общесистемных целей и т. п. в рамках учебно-методических комплексов (УМК) отдельных дисциплин.

К сожалению, в настоящее время ощущается дефицит научно обоснованных разработок для автоматизации управления процессом обучения. Модели и механизмы управления образованием на уровне государства, образовательного учреждения, факультета исследованы в работах многих авторов, но на уровне кафедр и лабораторий такие исследования затруднены многообразием применяемых подходов к организации процесса обучения, отсутствием стандартизации при разработке специального программно-алгоритмического обеспечения. В связи с этим необходимо построение алгоритмов и моделей для управления учебным процессом в техническом вузе в условиях существующего многообразия форм обучения, используемых педагогических подходов, применяемых методик обеспечения учебного процесса в рамках УМК, разработки специального программного обеспечения для управления и поддержки принятия решений на основе накопленного фонда специальных программ и их интеграции с современными системами поддержки обучения.

По результатам анализа существующих систем управления обучением (Learning Management System – LMS), поддерживающих работу в дистанционном режиме, был сделан вывод об общих недостатках таких систем: отсутствие решений для интеграции с физическими установками, работающими в режиме реального времени; выполнение приложений «на стороне клиента», но не у всех клиентов установлено необходимое профессиональное ПО, являющееся платным. Таким образом, с целью повышения эффективности учебного процесса и расширения функциональных возможностей необходима разработка методики, моделей и алгоритмов построения автоматизированных обучающих комплексов по техни-

ческим дисциплинам на основе совершенствования существующих структур и моделей управления, а также алгоритмов и специального программного обеспечения на базе новых информационных технологий.

На кафедре автоматизации и информационных систем СибГИУ с использованием рассмотренного подхода и с учетом перечисленных выше требований на основе имеющихся методических, программных, алгоритмических разработок и корпоративной сети университета создана система управления обучением, опирающаяся на широкое применение Интернет-технологий, технологию «тонких клиентов», открытые стандарты (PHP, HTML, XML; SCORM, IMS) и ранее достигнутые результаты в теории и практике создания автоматизированных систем. Автоматизированный учебно-исследовательский комплекс «Логос» внедрен в учебный процесс кафедры для выполнения всех видов работ студентов и аспирантов всех форм обучения, включая профессиональную переподготовку.

Разработанный комплекс представлен как многоагентная АСУ обучением со встроенными интеллектуальными экспертными модулями и программными агентами (рисунок 1) на широком применении интернет-технологий и комбинировании стандартного и специального обеспечения [2, 3].

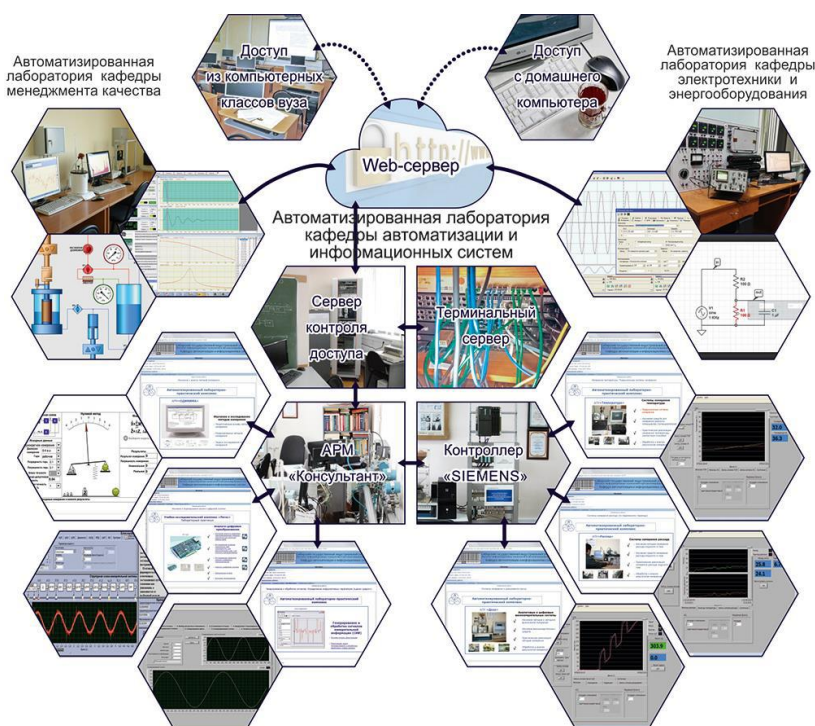


Рисунок 1 – Общая структура лабораторно-практического УИК «Логос»

Ядром автоматизированного комплекса является веб-портал кафедры систем автоматизации (sa.sibsiu.ru), реализованный с использованием языков программирования PHP, JavaScript; языков разметки HTML, XML; языков описания стилей CSS, XSL; СУБД MySQL.

Для обеспечения необходимой гибкости комплекса и потенциальной возможности интеграции с действующими системами других вузов, кафедр и учебных центров разрабатываются специализированные драйверы для соединения с другими распространенными СУБД (PostgreSQL, MSSQL, Oracle).

Рассмотренная компьютерная технология внедрена при модернизации обучающих многовариантных автоматизированных комплексов «Логос» и «Метролог» по информационно-измерительным технологиям, включающего автоматизированные лабораторные установки (АЛУ): «Доза», «Расход», «ОДИМИМА», «Температура», «Коррекция», «АЦС» и другие встроенные и подключаемые измерительные подсистемы с соответствующими ти-

повыми задачами промышленной метрологии, предназначенными для выполнения практических и исследовательских работ, как в обычном, так и в дистанционном режимах. Общая структура лабораторно-практического комплекса «Логос» по информационно-измерительным технологиям представлены на рисунке 1.

Использование технологий удаленного доступа позволяет обеспечить возможность работы клиентов – как обучающихся, так и обслуживающего персонала с любого рабочего места, подключенного к локальной сети ВУЗа или глобальной сети. Таким образом, распределенный АОК подразумевает не только связь между распределенными в пространстве лабораториями, центрами и установками, но и

между пользователями, работающими удаленно через локальные и глобальные сети авторизовавшимися на сайте кафедры sa.sibsiu.ru.

Выполнение работы начинается с личной страницы пользователя (рисунок 2), где выбирается тип работы.

Учебно-методический комплекс Информационно-измер
Можно приступать к работам...

Дисциплина: **Метрология, стандартизация, сертификац**
Характер работы: свободный
Ваша подгруппа: Подгруппа 2 » Звено 2 —> [Смотреть](#)

Выберите тип работы
[Лекционные материалы](#) · [Практические](#) · [Лабораторные](#)

У вас заданий: всего - 4, не сданных - 4, новых -
Не сданные задания:

| Название |
|---|
| Поверка средств измерений |
| Градуйровка и калибровка аналоговой и аналого-цифро |
| Определение и представление результата измерения |
| Реализация методов измерения |

Рисунок 2 – Фрагмент личной страницы пользователя

В зависимости от типа выбранной работы появляется страница с порядком ее выполнения, включающая методические указания, описание средств, порядок выполнения и требования к представлению результатов работы (рисунок 3)

Базовым модулем, обеспечивающим вход пользователя в систему и предоставляющим справочную информацию о кафедре, специальностях, учебных планах, является модуль CMS. Модуль CMS отвечает за предоставление пользователям справочной информации общего характера, формирование иерархической структуры разделов сайта, динамическое формирование карты сайта, связь с сотрудниками кафедры и другие стандартные функции веб-порталов.

Реализован гибкий многовариантный модуль управления доступом на основе фундаментальных свойств интерфейса CGI (Common Gateway Interface), широко применяемого при программировании динамических веб-страниц. В зависимости от настроек, формируемых администраторами комплекса и отдельными преподавателями курсов, регистрация пользователей осуществляется либо по заранее подготовленному списку группы, либо в режиме онлайн, либо с дополнительным последующим подтверждением регистрации администратором (что полностью удовлетворяет потребностям учебных групп всех форм обучения). Реализована интеграция базы данных пользователей со службой каталогов Active Directory, что позволяет пользователям с помощью единой учетной записи получать доступ с соответствующими правами как в рамках веб-интерфейса, так и к компьютерам, находя-

щимся в локально-вычислительной сети кафедры (в компьютерных аудиториях, входящих в единый кафедральный домен).

| | |
|---|--------------------------|
| 1 Изучение методов измерения | <input type="checkbox"/> |
| 1.1 Изучение методов измерения массы в системах порционного дозирования | |
| 📖 Методические указания | |
| 1.2 Тестирование по методическим материалам | |
| 2 Изучение весоизмерительных средств | <input type="checkbox"/> |
| 2.1 Техническая структура АЛУ | |
| 📖 Методические указания | |
| 2.2 Датчики силоизмерительные тензорезисторные | |
| 📖 Методические указания | |
| 2.3 Алгоритмическое и программное обеспечение | |
| 📖 Методические указания | |
| 2.4 Принцип действия, метрологические характеристики и настройка электронных весов | |
| 📖 Описание весов ВЛ Э144 | |
| 2.5 Тестирование по техническим средствам | |
| 2.6 Модели и характеристики средств измерения | |
| 📖 Методические указания | |
| 📖 Построение градуировочных характеристик измерительных средств | |
| 3 Практическая реализация методов измерения | <input type="checkbox"/> |
| 3.1 Проведение измерительного эксперимента | |
| 📖 Режим работы комплекса | |
| 📖 Порядок выполнения работы | |
| 📖 Сохранение натурно-модельного сигнала | |
| 📖 Автоматизированная лабораторная установка «Доза» | |
| 3.2 Определение и регистрация результатов измерения | |
| 📖 Протокол поверки весоизмерительной системы методом образцовых мер | |
| 📖 Протокол поверки весоизмерительной системы методом постепенного замещения | |
| 3.3 Определение погрешностей измерения | |
| 📖 Теория по погрешностям | |
| 3.3.1 Задача: Определение номинальной погрешности измерения | |
| 3.3.2 Задача: Определение реальной погрешности измерения | |
| 3.4 Определение и регистрация результатов идентификации градуировочной характеристики ВИС | |
| 3.4.1. Методы измерения массы в системах порционного дозирования | |
| 📖 Методические указания | |
| 3.4.2. Таблицы регистрации результатов эксперимента | |
| 📖 Таблицы регистрации результатов | |

Рисунок 3 – Модуль формирования порядка выполнения работы

Информационно-справочная система поддержки учебного процесса представлена существующими разработками и вновь созданными подсистемами, включающими:

– распределенную базу данных учебной и научной литературы и методических материалов «Библиограф», с возможностями поиска литературы по критериям, установления многосвязных соответствий учебный материал – учебная дисциплина, публикации вложенных материалов (многотомников, сборников статей) и другими пользовательскими функциями;

– базу данных специализированных программных продуктов, разработанных сотрудниками и студентами кафедры, с возможностями скачивания и применения в обучении;

– базу данных натуральных и модельных сигналов, снятых с производственных объектов или сгенерированных (обработанных) обучаемыми при выполнении лабораторных и практических работ. Для хранения данных сигналов разработан специальный формат. Имеется возможность поиска сигналов по критериям (тип объекта, тип датчика, дата снятия сигнала и др.);

– базу данных технических средств автоматизации на основе электронных материалов и каталогов отечественных и зарубежных разработчиков.

Вся информация, хранящаяся в базах данных, используется при выполнении различных работ по соответствующим курсам. Основной формой представления информации являются документы HTML (как статические, так и генерируемые по запросу пользователя), PDF, RTF и Microsoft Word.

Важнейшей частью автоматизированного комплекса «Логос» является модуль управления обучением, обеспечивающий проведение практических, лабораторных, научно-

исследовательских работ, а также программную и информационную поддержку курсового и дипломного проектирования. Для выполнения практических работ подготовлено специальное программное обеспечение, разработанное на различных языках высокого уровня (Delphi, Java, C++), а также в различных средах, таких, как Adobe Flash, National Instruments LabVIEW (LV). Лабораторные работы проводятся на натуральных автоматизированных лабораторных установках с помощью разработанного специализированного ПО, позволяющего работать с ними непосредственно с АРМа пользователя, а также с виртуальными лабораториями LV через общий для всех работ интерфейс (в том числе, в дистанционном режиме). Задания для студентов, подгрупп или групп формирует преподаватель при помощи веб-интерфейса. Все действия студента по выполнению работ отслеживаются, ведется статистика посещений. Для оценки знаний обучаемых разработана система текущего (по этапам выполнения работы) и итогового тестирования, соответствующая спецификации IMS QTI. Вывод о допуске студента к защите работы и экзамену (зачету) делается на основании результатов всех тестов после итогового тестирования.

Особенностью УИК «Логос» является его распределённость не только в сторону «клиентской» части, но и в части лабораторно-технической базы [4]. Такая его двусторонняя организация позволяет реализовать гибкую многовариантную работу комплекса, где подсистема управления обучением является центральной частью всей перестраиваемой системы.

УИК «Логос» по информационно-измерительным технологиям успешно используется в течение нескольких лет для проведения теоретических, практических, лабораторных, курсовых и научно-исследовательских работ по дисциплинам «Метрология, стандартизация, сертификация», «Технические измерения и приборы», «Программирование», «Технология программирования», «Основы практического применения Интернет-технологий» для специальностей «Автоматизация технологических процессов и производств», «Информационные системы и технологии», а также специальностей других кафедр. Заложенная при проектировании концепция расширяемости позволяет за короткое время с минимальными затратами производить подключение новых дисциплин. Так в настоящее время производятся работы по расширению спектра охвата дисциплин, преподаваемых и на других кафедрах университета (например, кафедры управления качеством и документоведения), что позволяет перейти от кафедрального к университетскому комплексу.

Из накопленного опыта разработки, внедрения и эксплуатации учебно-исследовательского комплекса можно сделать вывод, что использование программных технологий с открытыми исходными кодами для построения АОК на основе интернет-технологий оправдано и целесообразно, так как их функциональность вплотную приблизилась к коммерческим системам, кроме того технология тонкого клиента может успешно использоваться при построении веб-портала учебного назначения. Однако при разработке УИК по измерительным технологиям, а также другим техническим дисциплинам, требующим проведение лабораторного эксперимента, она должна быть дополнена разработкой специализированного ПО, например, виртуальных инструментов LabVIEW, экспертных систем на базе Exsys Corvid и т.д. Наиболее перспективной видится реализация специализированного ПО в форме апплетов Java, что позволяет сохранить тонкие клиенты и обеспечивает высокую переносимость программ.

Опыт применения комплекса, который, в том числе, отмечен наградами всероссийских выставок и конференций, подтверждает повышение функциональных возможностей и уровня подготовки специалистов и позволяет рекомендовать его для применения в другие учебные заведения и в инженерных и учебных центрах различных производственных предприятий.

Библиографический список

1. Абросимов А.Г. Методологические и практические аспекты создания информационно-образовательной среды вуза. – Научные труды VI Международной научно-практической

- конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права». – Книга «Информатика». – М.: МГАПИ, 2003. – С. 4 – 8.
2. Гулевич Т.М., Бауэр И.К. Состав и реализация автоматизированного учебно-исследовательского комплекса по информационно-измерительным технологиям. – Информационные технологии моделирования и управления. – 2007. – № 2 (36). С. 165– 171.
 3. Гулевич Т.М., Кулаков С.М., Бауэр И.К., Федотов А.А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611746. Программное обеспечение учебно-исследовательского комплекса «Логос» – № 2007610234; Заявл. 26.01.2007; Опубл. 25.04.2007.
 4. Гулевич Т. М., Ляховец М. В., Макаров Г. В., Морозов П. А. Автоматизированный лабораторный практикум в распределенном учебно-исследовательском комплексе // Современные научные исследования. Выпуск 3 – Концепт. – 2015. – ART 85722. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/85722.htm> - ISSN 2304-120X.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДО-ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В ПАКЕТЕ ANSYS ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА *

Гребнева Н.В., Черемискина Н.А., Лавров В.В., Киселев Е.В.

*Уральский федеральный университет,
г. Екатеринбург, Россия*

Подготовка профессионального исследователя и инженера невозможна без обучения современным системам автоматического проектирования (CAD, Computer Aided Design) и автоматического инженерного анализа (CAE, Computer Aided Engineering) [1]. Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться в научно-исследовательской и производственной сферах, не поддаются аналитическому решению либо требуют больших финансовых и временных затрат на экспериментальную реализацию по схеме «проектирование – изготовление – испытания». В то же время, прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных расчетному анализу. Полученные на основе методов CAE результаты используются практически во всех областях науки и техники. Одним из самых известных универсальных программных комплексов в области автоматического инженерного анализа является пакет ANSYS [2 – 4].

Авторы доклада с помощью программного модуля ANSYS FLUENT разработали расчетную модель процесса движения жидкости в теплообменном аппарате с естественной конвекцией для лабораторной установки «Изучение водо-воздушных теплообменников» на кафедре «Теплофизика и информатика в металлургии» института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

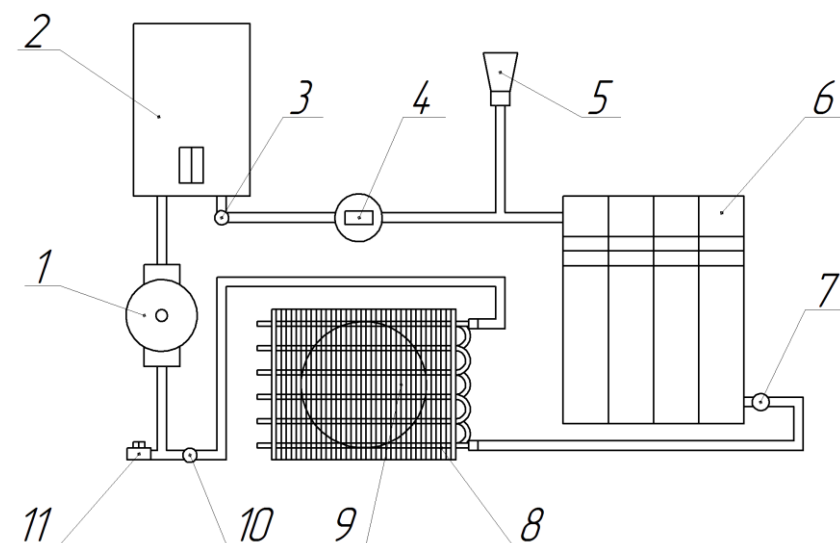
Целью исследования являлось компьютерное моделирование теплообменных процессов при движении жидкости в теплообменном аппарате с естественной конвекцией и сопоставление полученных расчетных значений с результатами экспериментальных исследований на лабораторной установке. Лабораторная установка предназначена для изучения студентами конструкции и принципов работы водо-воздушных теплообменников.

Основными элементами лабораторной установки (рисунок 1) являются теплообмен-

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

ный аппарат с естественной конвекцией и водо-воздушный теплообменник с вынужденной конвекцией. В данной работе рассмотрен теплообменный аппарат только с естественной конвекцией.



- 1 – циркуляционный насос подачи горячего теплоносителя; 2 – водонагреватель со ступенчатым управлением нагревом; 3 – термопара на входе в теплообменник с естественной конвекцией; 4 – счетчик расхода теплоносителя с импульсным выходом; 5 – заливочное устройство; 6 – теплообменник с естественной конвекцией; 7 – термопара на выходе из теплообменника естественной конвекции и на входе в теплообменник с вынужденной конвекцией; 8 – теплообменник с вынужденной конвекцией; 9 – термопара воздуха на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией; 10 – термопара на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией; 11 – сливной кран горячего теплоносителя

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Центральным объектом при работе в пакете ANSYS Workbench является проект, представляющий собой совокупность геометрических, физических и конечно-элементных моделей тел задачи, для которой находят результат численного решения [3]. Проект может включать один или нескольких блоков, реализующих отдельные виды инженерного анализа и состоящих из элементов – структурных, отвечающих за определенный этап анализа.

В общем случае решение задачи инженерного анализа включает в себя следующие этапы:

1) создание расчетной модели (препроцессинг). Здесь создается геометрическая модель, задаются материал и его свойства, генерируется конечно-элементная сетка, определяются физические условия моделирования. В результате этого этапа получают модель, подготовленную для численного решения;

2) настройка решателя и решение. На этом этапе задаются настройки решателя, параметры, обеспечивающие сходимость итерационного процесса, и запускается решение задачи. Результатом этапа является численное решение;

3) обработка результатов (постпроцессинг). В этом этапе на базе полученного численного решения задачи выполняется визуализация распределения искомых физических величин. Конечным результатом этапа являются графики, массивы значений и т.д.

Построение геометрии объекта исследования выполнено в пакете ANSYS с помощью встроенного модуля Geometry Design. Модуль реализует современные методы моделирования плоской и трехмерной геометрии. Кроме стандартных инструментов геометриче-

ского моделирования Design Modeler имеет ряд специальных функций, позволяющих подготовить модель к инженерному анализу в ANSYS. Геометрическая модель водовоздушного теплообменника представлена на рисунке 2.

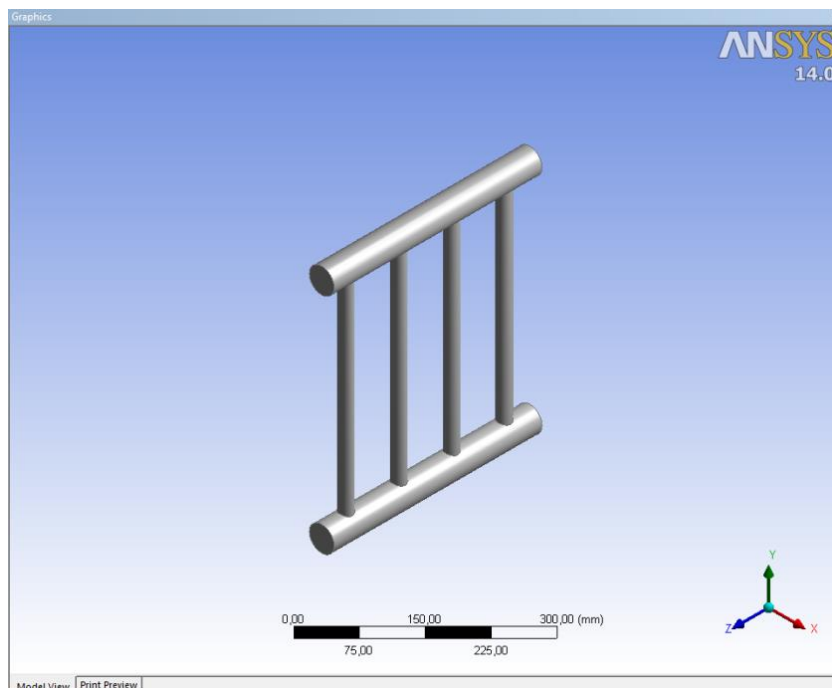


Рисунок 2 – Геометрическая модель, построенная в модуле Design Modeler

Создание сетки является неотъемлемой частью процесса компьютерного инженерного моделирования. Качество сеточной модели влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. В работе использована трехмерная тетраэдральная расчетная сетка. Базовый размер ячейки составил $5 \cdot 10^{-3}$ м. Остальные параметры были заданы автоматически.

Численное решение задачи произведено с помощью программного модуля ANSYS FLUENT, решатель которого основан на методе конечных объемов [2]. При этом область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т.д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; в завершении осуществляется численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области. Интеграция модуля ANSYS FLUENT в рабочую среду ANSYS Workbench, а также возможность использования модуля ANSYS CFD-Post для обработки результатов создает комплексное решение для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов.

В качестве начальных условий заданы: температура окружающей среды – 25 °С, температура на входе в радиатор 48 °С, атмосферное давление 101 325 Па. На входной границе задан расход воды из насоса – 0,7 л/мин или $0,00001167 \text{ м}^3/\text{с}$, коэффициент теплоотдачи $357 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°С}$.

Для проверки сходимости расчета использовался контроль текущих значений и невязок компонентов температуры. Кроме того, осуществлялся контроль массового расхода на входных и выходной границах. Относительная величина невязки не превысила 0,2 % (рисунок 3).

Визуализация результатов распределения температуры жидкости в радиаторе для стационарного решения произведена с помощью модуля ANSYS CFD-Post. Фрагмент представлен на рисунке 4.

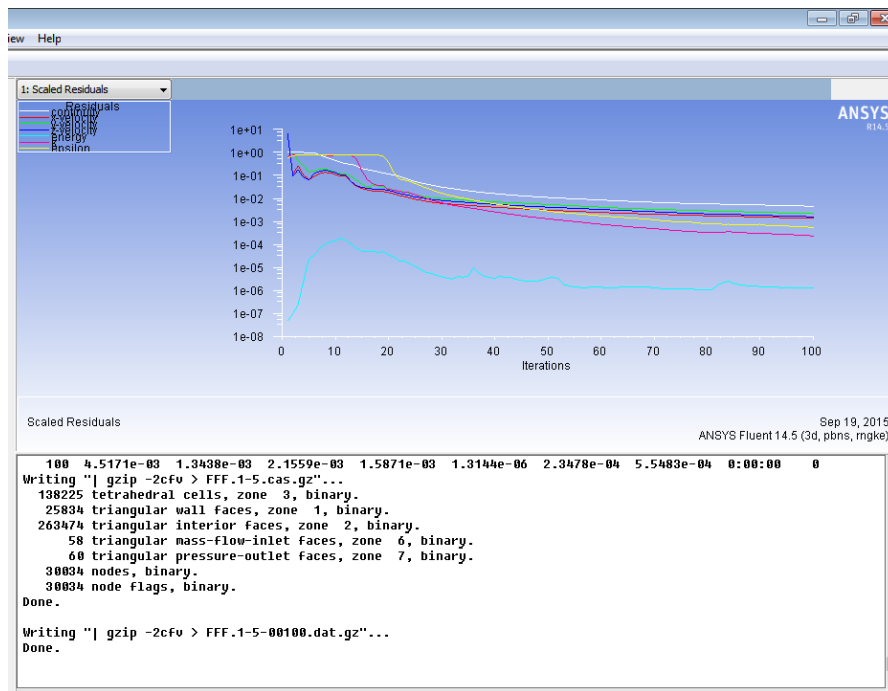


Рисунок 3 – Окно контроля процесса сходимости решения

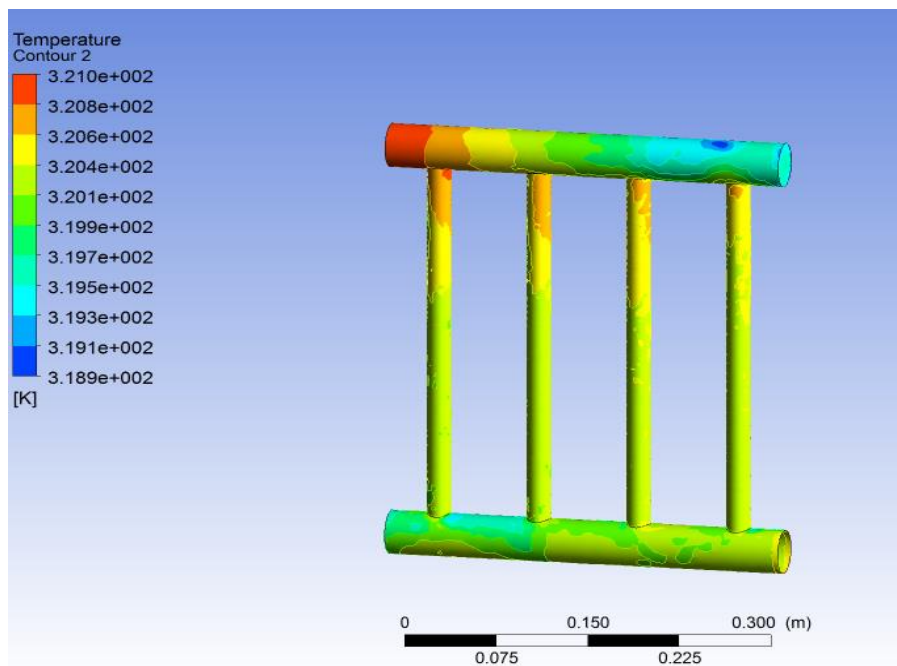


Рисунок 4 – Распределение температуры воды внутри радиатора

В результате расчета температура воды на выходе из радиатора составила $46,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($319,5\text{ K}$). Полученные в ходе компьютерного моделирования результаты согласуются с результатами экспериментального изучения теплообменных процессов в теплообменнике, выполненными авторами в соответствии с методикой проведения лабораторных работ. В частности, опытным путем была получена температура воды на выходе из радиатора $45,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Несущественную разницу между температурой, полученной экспериментально и в пакете ANSYS, можно объяснить потерями на нагрев металла между термопарой и входом в радиатор.

Разработанная компьютерная модель будет использоваться в учебном процессе при

проведении лабораторных и практических работ соответствующих дисциплин для подготовки бакалавров и магистрантов по направлениям «Металлургия» и «Информационные системы и технологии».

Библиографический список

1. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К.Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
2. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования: учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» / А.В. Жидков. Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
3. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. Численное исследование конвективных течений в пакете ANSYS: выпускная квалификационная работа бакалавра / Д.Ф. Ибраев. – Пермь: ПГНИУ, 2012. – 57 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ПАКЕТЕ ANSYS ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА «ИСПЫТАНИЯ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА»*

Черемискина Н.А., Гребнева Н.В., Лавров В.В., Киселев Е.В.

*Уральский федеральный университет,
г. Екатеринбург, Россия*

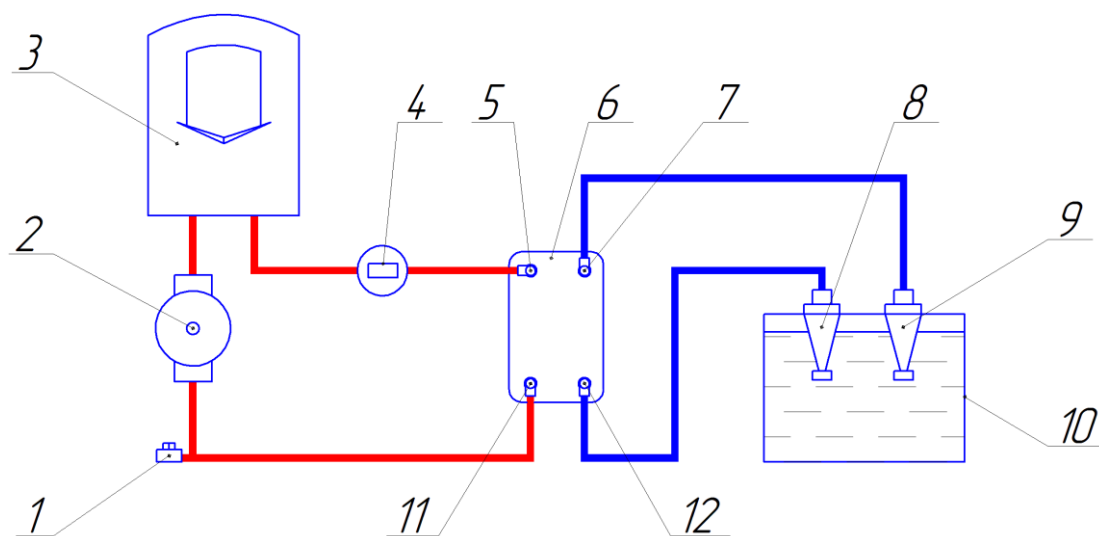
Использование в инженерной практике современных систем автоматизации инженерных (CAE, Computer Aided Engineering) совместно с системами автоматического проектирования (CAD, Computer Aided Design) существенно ускоряет весь цикл разработки и изготовления новых конструкций теплотехнических устройств [1; 2]. Быстрое выполнение инженерных расчетов позволяет своевременно вносить в проект изменения на основе полученных результатов и исключить необходимость внесения дорогостоящих проектных изменений на поздних этапах проектирования. Совместное использование имитационного компьютерного моделирования и физических лабораторных испытаний позволяет получить большую уверенность в результатах анализа и сократить количество физических прототипов.

Для обучения студентов навыкам компьютерного инженерного анализа теплотехнических устройств на кафедре «Теплофизика и информатика в металлургии» института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» используется программный комплекс ANSYS Academic Teaching Advanced.

В докладе представлена расчетная модель для лабораторной установки «Испытание пластинчатого теплообменника», выполненная в программном модуле ANSYS FLUENT. Целью исследования является компьютерное моделирование теплообменных процессов при движении жидкости в пластинчатом теплообменном аппарате и сопоставление полученных расчетных значений с результатами экспериментальных лабораторных исследований. Конструкция и принцип работы пластинчатого теплообменника изучаются студентами в курсе «Теплотехника» на лабораторной установке, представленной на схеме (рисунок 1).

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.



1 – сливной кран горячего теплоносителя; 2 – циркуляционный насос подачи горячего теплоносителя; 3 – водонагреватель со ступенчатым управлением нагревом; 4 – счетчик расхода горячего теплоносителя с импульсным выходом; 5 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе в теплообменник Т1; 6 – пластинчатый теплообменник; 7 – датчик температуры горячего теплоносителя; 7 – датчик температуры холодного теплоносителя Т3; 8 – насос подачи холодного теплоносителя противотоком; 9 – насос подачи холодного теплоносителя прямотоком; 10 – резервуар холодного теплоносителя; 11 – датчик температуры горячего теплоносителя на входе теплообменника Т2; 12 – датчик температуры холодного теплоносителя Т4

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Основным элементом теплообменника являются теплопередающие пластины, изготовленные из коррозионно-стойких сплавов толщиной 0,4 – 1,0 мм методом холодной штамповки (рисунок 2). Пластины плотно прижаты друг к другу и образуют щелевые каналы. Два из четырех отверстий в пластине обеспечивают подвод и отвод греющей или нагреваемой среды к каналу. Два других отверстия, дополнительно изолированы малыми контурами, предотвращающими смешение (переток) греющей и нагреваемой сред. Для предупреждения смешивания сред в случае прорыва одного из малых контуров прокладки предусмотрены дренажные пазы.

Пространственное извилистое течение жидкости в каналах способствует турбулизации потоков, а противоток между нагреваемой и греющей средой способствует увеличению температурного напора и, как следствие, интенсификации теплообмена при сравнительно малых гидравлических сопротивлениях.

Основной платформой решения задачи в пакете ANSYS является проект ANSYS Workbench, представляющий собой совокупность геометрических, физических и конечно-элементных моделей тел задачи, для которой находят результат численного решения [3; 4].

Решение задачи инженерного анализа включает в себя следующие основные этапы:

1) создание геометрии расчетной модели (препроцессинг). Здесь создается геометрическая модель, задаются материал и его свойства, генерируется конечно-элементная сетка, определяются физические условия моделирования. В результате этого этапа получают модель, подготовленную для численного решения;

2) настройка решателя и решение. На этом этапе задаются настройки решателя, параметры, обеспечивающие сходимость итерационного процесса, и запускается решение задачи. Результатом этапа является численное решение;

3) обработка и представление результатов моделирования (постпроцессинг). В этом этапе на базе полученного численного решения задачи выполняется визуализация распре-

деления искомых физических величин. Конечным результатом этапа являются графики, массивы значений и т.д.

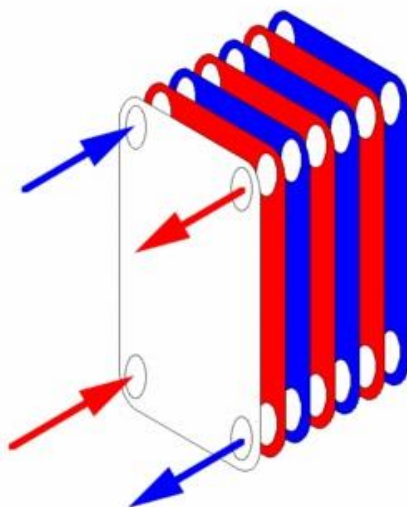


Рисунок 2– Упрощенная схема пластинчатого теплообменника

Пакет ANSYS позволяет интегрировать в модули расчетов твердотельные модели из сторонних CAD-систем (Компас, AutoCAD и др.). Однако для более углубленного изучения пакета было решено создать модель пластинчатого теплообменника во встроенном графическом редакторе Geometry ANSYS Workbench. Модуль реализует современные методы моделирования плоской и трехмерной геометрии. Кроме стандартных инструментов геометрического моделирования Geometry Design Modeler имеет ряд специальных функций, позволяющих подготовить модель к инженерному анализу в ANSYS. Геометрическая модель пластинчатого теплообменника представлена на рисунке 3.

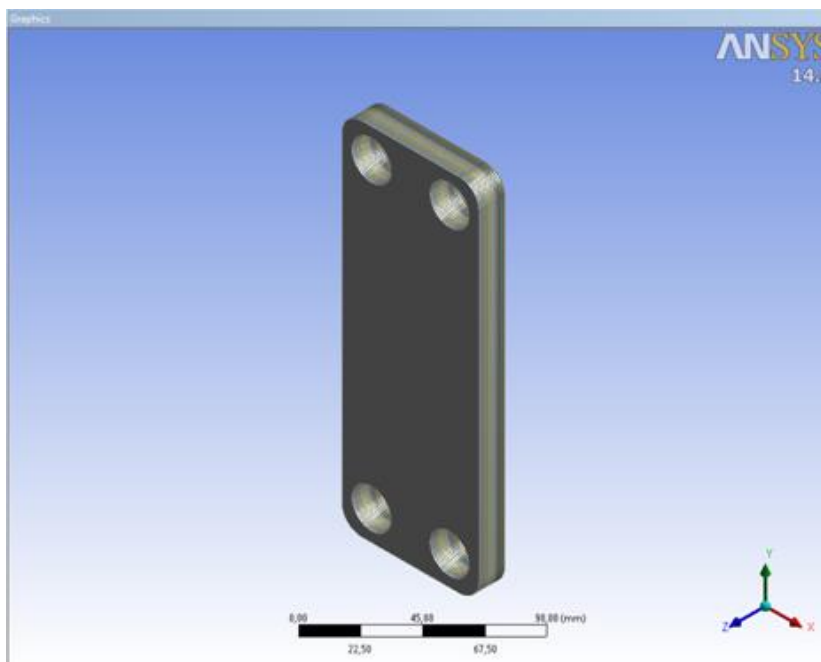


Рисунок 3 – Геометрическая модель, построенная в модуле Geometry Design Modeler

Первым этапом процесса компьютерного инженерного моделирования является создание сетки. Качество сеточной модели влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. Изначально сетка имеет ячейки треугольной формы, но для более точного

расчета используется трехмерная тетраэдральная сетка, с размером ячейки $5 \cdot 10^{-3}$ м. Остальные параметры были оставлены без изменений.

Численное решение задачи произведено с помощью программного модуля ANSYS FLUENT, решатель которого основан на методе конечных объемов [2]. При этом область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т.д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; в завершении осуществляется численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области. Интеграция модуля ANSYS FLUENT в рабочую среду ANSYS Workbench, а также возможность использования модуля ANSYS CFD-Post для обработки результатов создает комплексное решение для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов.

Начальными условиями были заданы: температура окружающей среды – 27 °С, температура горячего теплоносителя на входе в пластинчатый теплообменник – 34,8 °С, температура холодного теплоносителя на входе – 36,8 °С, атмосферное давление – 101325 Па. Расход воды из насоса на входной границе – 0,7 л/мин или 0,00001167 м³/с, коэффициент теплоотдачи – 587 Вт/м³·°С. Для проверки сходимости расчета использовался контроль текущих значений и невязок компонентов температуры. Кроме того, осуществлялся контроль массового расхода на входных и выходной границах. Относительная величина невязки не превысила 0,2 % (рисунок 4).

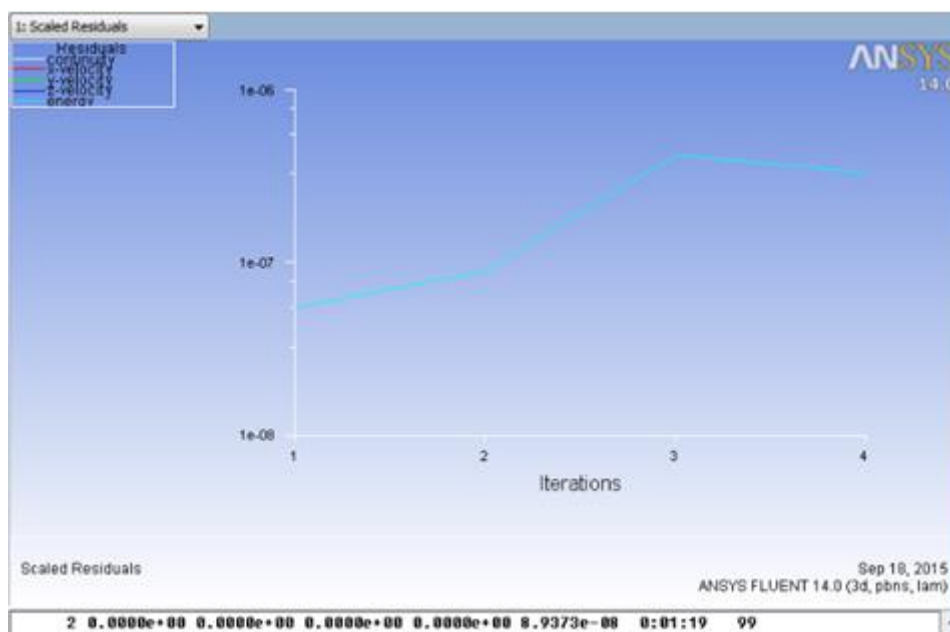


Рисунок 4 – Окно контроля процесса сходимости решения

Визуализация результатов распределения температуры жидкости в пластинчатом теплообменнике для стационарного решения произведена с помощью модуля ANSYS CFD-Post. Фрагмент представлен на рисунке 5.

В результате расчета температура горячей воды на выходе из пластинчатого теплообменника составила 37 °С (310 К), температура холодной воды – 32 °С (305 К).

Полученные в ходе компьютерного моделирования результаты согласуются с результатами экспериментального изучения теплообменных процессов в теплообменнике, выполненными авторами в соответствии с методикой проведения лабораторных работ. Небольшую разницу между температурой, полученной экспериментально и в пакете ANSYS, можно объяснить потерями на нагрев металла между термпарой и входом в теплообменник.

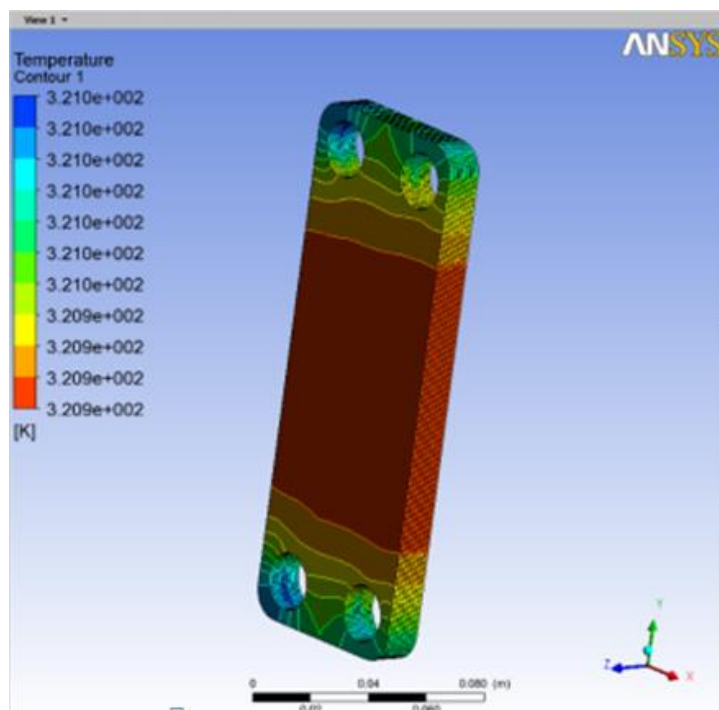


Рисунок 5 – Распределение температуры воды внутри пластинчатого теплообменника

Разработанная компьютерная модель будет использована в учебном процессе при проведении лабораторных и практических работ соответствующих дисциплин для подготовки бакалавров и магистрантов по направлениям «Металлургия» и «Информационные системы и технологии».

Библиографический список

1. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К.Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
2. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования: учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» / А.В. Жидков. Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
3. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 271 с.
4. Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Ч.2: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Я.В. Кураева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 149 с.

РАЗРАБОТКА РАСШИРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ В РАМКАХ LMS MOODLE

Милованов М.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Аннотация. В статье описывается опыт создания расширения для системы дистанционного обучения Moodle. Сравняются подходы с использованием сторонних компонентов системы Moodle и базового функционала. Отражены преимущества и недостатки при использовании функционала системы и возможностей плагинов сторонних разработчиков.

Ключевые слова: дистанционное обучение, Moodle, СУБД, программирование

Основываясь на современных тенденциях развития образования в Сибирском государственном индустриальном университете в 2004 года было принято решение внедрять систему дистанционного обучения. В качестве платформы для удаленного обучения студентов сначала была выбрана система «Openet» [1], а в 2008 году был осуществлён переход на LMS Moodle версии 1.8 [2]. В 2014 году в рамках расширения контингента система была обновлена до версии 2.8. В связи с этим встал вопрос, удовлетворяет ли функционал системы всем требованиям по организации обучения студентов. До этого момента для обеспечения управления курсами в системе использовался плагин «Free dean's Office» или «Электронный деканат». С определенного момента работа данного плагина стала нестабильна, возникали проблемы с организацией учебных процессов, произвольным изменением некоторых данных, требовалось гораздо больше времени для устранения этих ошибок.

Помимо этого плагин «Электронный деканат» имел избыточный функционал, многие процессы, такие как регистрация пользователей на курс и подписка на дисциплины в рамках создания учебных процессов была усложнена. Механизм создания договоров с преподавателями имел ряд ошибок, таких как вмешательство в поля таблиц базы данных самого Moodle. Например, это было очень критично при отличии email данных указанных в договоре «Электронного деканата» и указанного логина в Moodle, в результате чего изменялся логин для входа в систему. Множество действий «Электронного деканата» дублируют друг друга. Помимо этого система отчетов плагина «Электронный деканат» оставляла желать лучшего. Администратором системы была предпринята попытка разработать альтернативную систему отчетов используя API СДО Moodle и «Электронного деканата». С технической точки зрения проблема была частично решена. Однако основной проблемой также являлась несовместимость версий «Электронного деканата» и Moodle при обновлениях плагина и самой системы в целом [2 – 5].

В связи с перечисленными выше проблемами было принято решение использовать обновленную версию 2.8 для использования не только для организации обучения не только студентов заочной и очно-заочной форм обучения, но и для студентов очной формы обучения.

В отличие от используемого ранее функционала «Электронного деканата», для генерации групп был применен механизм работы глобальных групп или когорт СДО Moodle. Создание группы из 20 человек в «Электронном деканате» занимало около 30 минут. В данный момент готовый список группы импортируется в специальный файл и загружается в систему. В итоге время обработки сократилось до нескольких минут.

Между тем функционал «Электронного деканата» позволял создавать учебные процессы и зачислять на них группу, сформированную в электронном деканате, целиком. Это было довольно удобно, но трудозатраты всё равно оставались значительными. В том числе они были связаны со студентами, которые переводились в другие группы, восстанавливались после академического отпуска и т.д.

Оценив все эти проблемы, преимущества и недостатки «Электронного деканата», было принято решение создать расширение для СДО Moodle, реализующее основные функции, необходимые для обеспечения учебного процесса, между тем, не внося дополнительные изменения в базу данных Moodle, а все лишь используя его функционал.

Таким образом, был разработан функционал расширяющий Moodle:

- Подписка отдельного студента на множество дисциплин из списка;
- Подписка нескольких глобальных групп на множество дисциплин.

При разработке возникла проблема с тем что API довольно плохо документирован. Дело в том, что функции, с помощью которых происходит подписка на курс, не документированы в API. Поэтому изначально было решение использовать php-библиотеку cURL для отправки запросов файлу `enrol/manual/manage.php` для зачисления студентов на курс. Однако такой запрос проходил долго, поскольку число студентов обучающихся на одном курсе могло быть несколько сотен. Поэтому было решено использовать недокументированные функции Moodle файла `enrollib.php`, а именно `enrol_user(stdClass $instance, $userid, $roleid, $timestart, $timeend, $status, $recovergrades)`.

Сам процесс зачисления пользователя на курс с точки зрения Moodle заключается в следующих этапах:

- Получение сущности с помощью функции `get_record('enrol', array(), '*', MUST_EXIST)` зная id курса;
- Получение данных о курсе, в том числе для установки начала подписки;
- Обращение к плагину для зачисления на курс используя функцию `enrol_get_plugin('manual')`;
- Зачисление студента на курс через метод этого плагина `$plugin->enrol_user()` (рисунок 1).

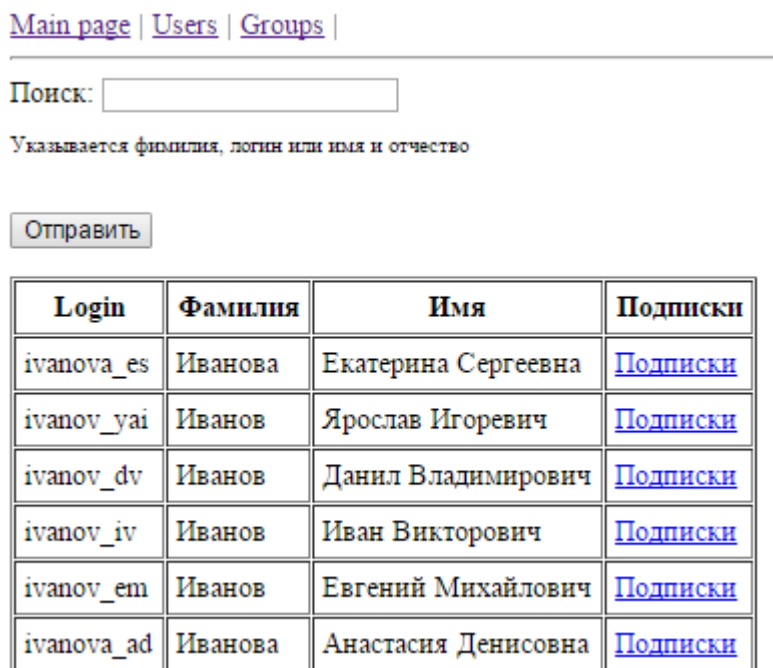


Рисунок 1 – Выбор и подписка пользователя на множество курсов

Использование API СДО Moodle позволяет без вмешательства в код самой системы дорабатывать функционал под свои нужды. Таким образом, разработанное расширение системы позволяет значительно ускорить работу [6] по зачислению студентов на курс. Дальнейшее развитие данного расширения предполагает создание расширенной статистики для ведения учета занятий, работы преподавателей и студентов.

Библиографический список

1. Ермакова Л.А. Применение сети Интернет для организации учебного процесса на заочном факультете университета: учеб. пособие / Л.А. Ермакова, А.А. Пермяков. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2006. – 106 с.
2. Милованов М.М. Опыт внедрения и использования системы дистанционного обучения Moodle в ВУЗе. Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы Международной научно-практической конференции. Редкол.: Ф.У. Еникеев и др.- Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2015. – 392 с. ISBN 978-5-905220-50-4.
2. Использование электронного обучения и дистанционных технологий в образовательном процессе вуза / Мочалов С.П., Павлова Л.Д., Ермакова Л.А., Кондратова О.А., Малинов М.Б. // Состояние и перспективы развития высшего образования в современном мире материалы Международной научно-практической конференции. под редакцией Г.А. Берулавы. 2013. – С. 147 – 150.
4. Ермакова Л.А. Построение единой информационно-образовательной среды университета // Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы Международной научно-практической конференции. / редкол.: Ф.У. Еникеев и др. – Уфа: Изд-во «Во-

- сточная печать», 2015.
5. Ермакова Л.А. Подготовка преподавателей для дистанционного обучения: опыт СибГИУ // Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы Международной научно-практической конференции. / редкол.: Ф.У. Еникеев и др. – Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2015.
 6. Милованов М.М. Современные подходы к моделированию и анализу бизнес-процессов предприятия [Электронный ресурс] // «Управление экономическими системами. Электронный научный журнал», 2011, №11. Режим доступа: <http://www.uecs.ru>

ТЕХНОЛОГИИ КОЛЛЕКТИВНОЙ РАБОТЫ В СТРУКТУРЕ ВУЗА

Новокрецин Б.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Модернизация сферы образования касается различных ее аспектов, включая деловые связи и сотрудничество вузов с социально-экономической средой, которое приобретает все большее значение для повышения качества выпускников и их благосостояния. Одним из структурных изменений последних лет является появление в «контактной зоне» ряда вузов «коворкинг-центров» для студентов и фрилансеров, начинающих бизнесменов, авторов инициативных start-up-проектов и т.д. Такие центры все шире распространяются по всему миру, образуя различные клоны в мегаполисах Америки, Европы и других частей света.

Первый в истории американский коворкинг открылся в Сан-Франциско (2005 г.), а российский – в 2008 (Екатеринбург) с последующими попытками создания таких центров в других крупных городах. В декабре 2012 года в Москве создан первый государственный «Коворкинг 2.0» с пилотной зоной на 50 рабочих мест общей площадью 500 м². В том же году состоялось совещание с представителями 30 вузов города Москвы о поддержке подобных структур в местной системе образования для студентов-фрилансеров и других бизнесменов.

«Мы предложили создать в каждом вузе Москвы коворкинг-центр, где любой студент по предварительной договоренности смог бы использовать эту площадку для ведения своего дела: проводить встречи, переговоры, обустривать свою рабочую зону... Мы надеемся, что открытие коворкинг-центров в вузах привлечет много молодых и амбициозных предпринимателей – пояснил участникам суть проекта В. Овчинников, директор МММЦ (ГБУК «Московский молодежный многофункциональный центр»).

По определению Wikipedia «коворкинг (англ. co-working-совместно работающие) – это модель работы, в которой участники, оставаясь независимыми и свободными, используют для своей деятельности общее рабочее пространство». Коворкинг занимает промежуточное место между надомной и офисной работой, популярен среди «виртуальных» работников и открывает для них ряд возможностей взаимодействия с представителями разных сообществ. Для делового общения клиентам-«коворкерам» действующими центрами представляются благоустроенные помещения с профильным интерьером, выделенными рабочими местами и дополнительным сервисом, обеспечивающими достаточно комфортные условия труда и отдыха, делового общения и обмена опытом, обучения и коммуникаций с внешним миром.

Коворкинги вузов, предположительно, способны мобилизовать деловую и творческую активность студентов, поддержать их бизнес-проекты, укрепить связи с местными бизнес-сообществами, а также обеспечить получение ряда других эффектов, на которые подобные центры рассчитаны и настроены. В широком смысле такие центры могут и должны стать действенным средством многоплановой интеграции вузов с социально-экономической средой, избавляя их от чрезмерной замкнутости и давая шанс дополнительной финансовой

и иной поддержки заинтересованными партнерами, что особенно важно при хроническом дефиците ресурсов, в условиях экономического кризиса. Понятно, что выбранные цели должны быть логически согласованы с используемыми подходами, методами и средствами.

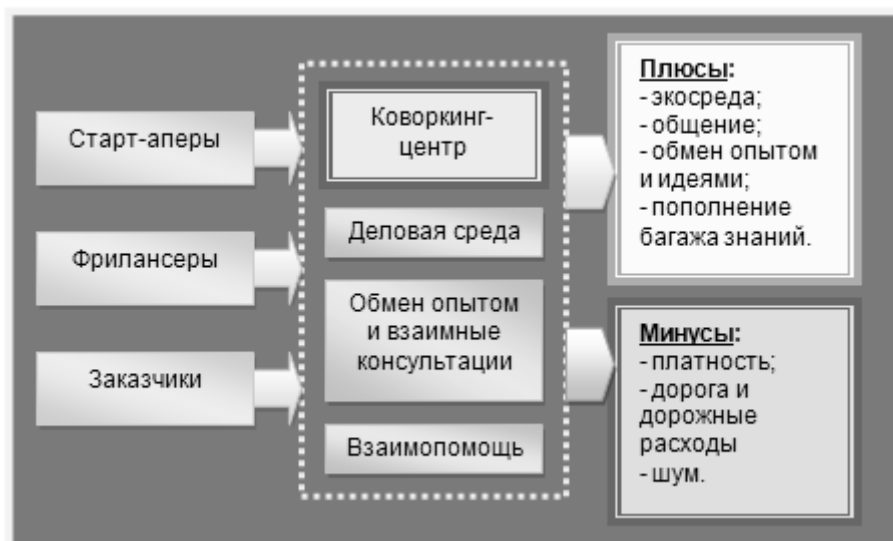


Рисунок 1 – Модель коворкинг-центра (URL <http://vadim-galkin.ru/>)

Фактически же большинство первых коммерческих коворкинг-центров выполняли обычные функции элитарных кафе, просуществовали недолго и закрылись из-за чрезмерной убыточности, которая объясняется недостаточным потребительским спросом на услуги, который во многом зависит от плотности активного населения на местах, качества рекламы и самого сервиса, полезной отдачи платных сеансов и других факторов. По мнению экспертов эти неудачи вызваны ошибками проектирования систем этого типа, пренебрежением к мировому опыту и научным рекомендациям, отказом от поддержки большинства ключевых задач, решаемых основной массой коворкеров, равно как и их многопланового делового сотрудничества. Коворкинг остается пока лишь декларацией и сугубо инфраструктурным проектом, почти не влияющим на организацию, параметры и результаты основных бизнес-процессов потенциальных участников реального взаимодействия и сотрудничества.

Неудачные коворкинг-проекты не означают порочности самой идеи многоплановой интеграции сфер образования, производства и маркетинга, которая может облекаться в ту или иную форму. Для успеха подобных проектов в них необходимо воплотить «критическую массу» научно-технических и творческих достижений, порождающих достаточно высокий совокупный (синергетический) эффект, оправдывающие затраты и ожидания участников. Системный подход в сочетании с современными методологиями проектирования подобных систем, при рациональном использовании доступных ресурсов и возможностей обеспечат надлежащий уровень надежности, доходности и конкурентоспособности коворкинг-центров.

При этом немаловажное значение приобретает операционная среда, где разворачивается сам коворкинг-процесс и на него неизбежно воздействуют различные внешние факторы, условия и предпосылки. Коворкинг в образовательных учреждениях основан на их инфраструктуре и обладает характерными особенностями, не присущими коворкингам в других средах, что следует учитывать и отражать в соответствующих проектных решениях.

В вузах имеется ряд предпосылок для успеха коворкинга, имеющих свою ценность. Решающее значение для высокопродуктивного коворкинга имеет ресурсное обеспечение, и прежде всего его информационно-методическая часть, необходимая для инновационных начинаний и особо ответственных бизнес-процессов. Библиотечный фонд и отлаженные коммуникации современных вузов, как показывает мировой опыт, являются важнейшей со-

ставляющей образовательного коворкинга, весомой предпосылкой его успеха. Другим фактором успеха является квалифицированный кадровый состав, способный изучать и оценивать достижения прогресса в своей области, организованно обучать и оперативно оказывать коворкерам консультативную помощь. Не менее важны качества студенчества- творчески активного социального окружения, предрасположенного к сотрудничеству и самостоятельному выполнению широкого спектра работ. Во многих случаях особое значение приобретает материально-техническая база, аудиторный фонд и другие артефакты вуза. Все это создает весьма благоприятные условия и предпосылки коворкингу именно в вузах, где концентрируется научный потенциал и другие составляющие инновационного бизнеса.

Инфраструктура коворкинга формируется с учетом его особенностей, внутренней логики бизнес-процессов, характеристик основных операций. При всем разнообразии видов деятельности коворкеров, общим для них является целенаправленность, продуктивность и рациональность, стремление к получению желаемых результатов при умеренных затратах. В рамках коворкинга обычно выполняются небольшие проекты и работы, характеризующиеся непродолжительностью, быстротечностью и разнообразием рабочих операций. За короткое время фрилансерам и другим клиентам приходится решать довольно широкий спектр задач подготовительного, основного и завершающего этапов разработок. При этом результаты во многом определяются технологичностью коворкинг-процессов и их инфраструктуры, когда задается определенная логика и выбираются средства ее реализации в конкретных условиях.

Подготовительная фаза предшествует основному делу и направлена на создание благоприятных для этого условий, причем эти фазы сопоставимы по сложности и затратам.

Вариант коворкинга на практике есть реальный предмет оценки и выбора, анализа и разработки. Практически и в конечном счете - это целостная система особого рода, которую коворкеру приходится синтезировать для конкретных нужд, используя доступные ресурсы и возможности, инструментальные средства, известные методы и проектные решения. Для быстрого и эффективного создания множества подобных систем целесообразно позаботиться об их технологичности, которая достигается при комплексном использовании методов, обеспечивающих технологическую рациональность создаваемых изделий:

- типизации конструктивных схем, компоновок изделия и его составных частей;
- унификации, агрегирования и взаимозаменяемости изделия и его составных частей;
- блочно-модульного построения систем и устройств;
- функционально-стоимостного анализа изделий и его составных частей;
- экономико-математического моделирования взаимосвязей характеристик изделия;
- заимствования (бенчмаркинга) и симплификации составных частей и т.п.

Технологичность – комплексная характеристика объекта, которая выражает удобство его производства, ремонтпригодность и эксплуатационные качества, влияет на свойства и конструктивные особенности, отражается на себестоимости, цене и других показателях. Технологическая рациональность по ГОСТ 14.201-83 – совокупность свойств, выражающих технологичность изделия с точки зрения соответствия конструкции условиям производства и эксплуатации, которые определяются возможностями эффективного использования трудовых и материальных ресурсов, исходя из принятых норм и нормативов. Уровень технологической рациональности регулируется путем целесообразного выбора состава и структуры изделия, его составных частей, конструктивных элементов и материалов.

Технологичность коворкинга есть ключевой фактор его успеха, поскольку наряду с минимизацией трудоемкости и себестоимости способствует упрощению задач и повышению гарантий их решения, использованию труда и самостоятельности начинающих специалистов.

Полезная отдача и эффективность труда коворкеров при этом закономерно возрастают, окупая затраты и делая сервисы более привлекательным для потребительского рынка.

Значение технологичности существенно возрастает при расширении многообразия используемых методов и средств, усложнении коворкинга. Обычная территория коворкинг-

центра является непреодолимым препятствием для расширения бизнеса и не допускает обслуживания «сверхлимитных» клиентов, если весь сервис или большая его часть сосредоточены здесь физически. Однако, все больше общедоступных сервисных средств для множества типичных работ коворкеров размещается в Internet, что позволяет расширить как арсенал коворкинга, так и его зону обслуживания, создавая по мере необходимости виртуальное киберпространство для очередного проекта или бизнес-процесса. Эта часть инфраструктуры коворкинга строится по модульному принципу, включая существующие биржи фриланса (Weblancer.net, Freelansim.ru и др.), социальные сети и другие унифицированные технологические платформы, типовые структурные единицы информации и средства их обслуживания. Рациональное использование бизнес-моделей и методологий (BPR, CDIO, e-Learning и др.) по типовым сценариям работ и жизненным циклам проектов, открытых информационных ресурсов и прикладных программ в новых коворкинг-процессах приводит к повышению их эффективности.

Коворкинг может быть успешно применен в самостоятельной работе студентов (СРС), ресурсоемкость которой по действующим ФГОСам превышает половину планового времени, а также в ходе производственной и иной практики и даже в ходе аудиторных занятий. Более важным становится технологичный коворкинг для нетрудоустроенных выпускников вуза и фрилансеров со стажем, борющихся за свой сегмент рынка. Сам по себе коворкинг как особая форма самоорганизации и организации труда является своеобразной школой для молодежи, не имеющей пока достаточного опыта самостоятельной деятельности.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫГРУЗКИ ДАННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ 1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3 ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИЧНОГО КАБИНЕТА СТУДЕНТА

Рожкова А.С.

*Омский государственный институт сервиса,
г. Омск, Россия*

В современных условиях развития отечественной системы образования личный кабинет обучающегося является необходимым условием обеспечения образовательного процесса. Новыми федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС 3+) высшего образования определены требования к условиям реализации программы подготовки, предусматривающими, в частности, наличие в ВУЗе личного кабинета студента. В исследуемом образовательном учреждении ФГБОУ ВПО «ОГИС» используется система управления ВУЗом 1С: Предприятие 8.3 конфигурации 1С: УниверситетПРОФ. В связи с новыми образовательными стандартами актуальным стал вопрос о создании личного кабинета, используя все необходимые данные, которые уже содержит в себе указанная система управления ВУЗом.

Конфигурация от поставщика не имеет подобных механизмов выгрузки данных, в связи с чем, существует необходимость в разработке методики выгрузки данных из системы управления ВУЗом 1С: УниверситетПРОФ. Разработка данной методики позволит полностью автоматизировать процесс выгрузки необходимой информации, её актуализацию и минимизирует трудозатраты

Решение данной задачи, сформулированной в нормативных документах в общем виде, предполагает ее структурирование по компонентам и по функциям. Существуют следующие основные вопросы: определение необходимых данных для личного кабинета, анализ структуры данных в используемой системе 1С: УниверситетПРОФ, изучение способов настройки механизмов по выгрузке данных в исследуемой системе, настройка сервиса по выгрузке определенных данных, написание кода (запрос в 1с) для вывода необходимой информации.

На первом этапе была определена необходимая информация об образовательном

процессе студентов. В личном кабинете студентам должна предоставляться возможность работы с индивидуальными ресурсами, которые включают:

- учебный план и графики учебного процесса;
- списки учебных дисциплин, которые изучаются в каждом семестре;
- рабочие программы изучаемых дисциплин;
- информацию об успеваемости;
- внеучебные достижения студентов и др.

На следующем этапе проведен анализ данных, хранящихся в системе, изучена их структура. Путем опытного анализа были определены места хранения необходимых данных.

Изученный материал о механизмах выгрузки данных показал, что самый рациональный подход будет состоять в создании web-сервиса в 1С:Предприятие 8.3. Web-сервис 1С – это способ, с помощью которого можно разрешить запускать некоторые функции 1С снаружи базы 1С, в том числе из других программ или других баз 1С. Это лучше, чем предоставление прямого доступа к данным 1С, так как при вызове метода (функции) web-сервиса 1С, доступ к данным внешняя программа не имеет. Функция на языке 1С самостоятельно определяет право внешней программы получить конкретную толику данных по переданным параметрам (например, имени и паролю). Web-сервис 1С – это объект 1С, который находится в конфигурации. Для настройки web-сервиса необходимо создать механизм XDTO. Пакеты XDTO 1С позволяют описать структуру требуемого файла XML для преобразования данных в XML и из XML.

Настройка пакетов XDTO произведена с учетом проанализированных данных и их структуры (рисунок 1).

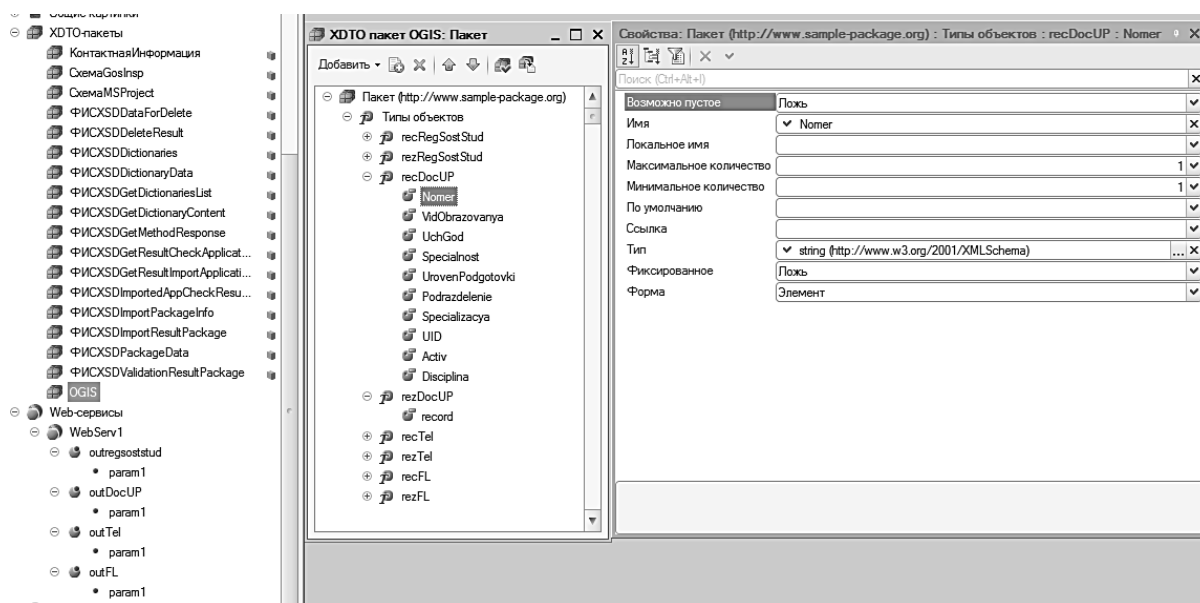


Рисунок 1 – Пример создания пакетов XDTO в 1С

После создания пакетов XDTO нужно добавить список функций (методов web-сервиса 1С) – которые будут предоставляться наружу (рисунок 2).

После добавления функций в web-сервиса 1С в модуле web-сервиса нужно описать добавленные функции, которые позволяют связать необходимые данные и получить актуальную информацию об обучающихся (рисунок 3).

Личный кабинет студента со стороны реализован как набор PHP скриптов, работающий с собственной базой данных под управлением MySQL сервера. Скрипт синхронизации вызывает необходимые функции web-сервиса 1С и получает необходимые данные, после чего, загружает их в специально разработанную для этого базу данных. Доступ пользователей осуществляется после аутентификации в виде страницы HTML.

- ⊖ Web-сервисы
 - ⊖ WebServ1
 - ⊖ outregsoststud
 - param1
 - ⊖ outDocUP
 - param1
 - ⊖ outTel
 - param1
 - ⊖ outFL
 - param1

Рисунок 2 – Пример добавления функций в web-сервис 1С

```

Функция outDocUP(param1)
ТипXDTOЗапись = ФабрикаXDTO.Тип("http://www.sample-package.org", "recDocUP");
ТипXDTOТаблица = ФабрикаXDTO.Тип("http://www.sample-package.org", "rezDocUP");
XDTOТаблица = ФабрикаXDTO.Создать(ТипXDTOТаблица);

Запрос = Новый Запрос;
Запрос.Текст = "ВЫБРАТЬ
|          УП.ВидОбразования,
|          УП.ГодОбучения,
|          УП.Специальность,
|          УП.Специализация,
|          УП.УровеньПодготовки,
|          УП.Регистратор.Номер КАК Номер,
|          УП.УникальныйИдентификатор,
|          УП.Дисциплина,
|          УП.Активность,
|          УП.ПериодКонтроля,
|          УП.Нагрузка,
|          УП.Тип,
|          УП.ТипЗаписи
|
| ИЗ
| РегистрСведений.УчебныйПлан КАК УП
|
| ГДЕ
|          УП.Тип = &Uplan
| И (УП.Нагрузка = &Nagr1 ИЛИ УП.Нагрузка = &Nagr2 ИЛИ УП.Нагрузка =
&Nagr3 ИЛИ УП.Нагрузка = &Nagr4 ИЛИ УП.Нагрузка = &Nagr5 ИЛИ УП.Нагрузка = &Nagr6)";

Запрос.УстановитьПараметр("Uplan", Справочники.ТипыУчебныхПланов.УчебныйПлан);
Запрос.УстановитьПараметр("Nagr1", Справочники.ВидыКонтроля.Зачет);
Запрос.УстановитьПараметр("Nagr2", Справочники.ВидыКонтроля.Экзамен);
Запрос.УстановитьПараметр("Nagr3", Справочники.ВидыКонтроля.ДифференцированныйЗачет);
Запрос.УстановитьПараметр("Nagr4", Справочники.ВидыКонтроля.ГЭК);
Запрос.УстановитьПараметр("Nagr5", Справочники.ВидыКонтроля.КурсоваяРабота);
Запрос.УстановитьПараметр("Nagr6", Справочники.ВидыКонтроля.КурсовойПроект);

Результат = Запрос.Выполнить();
Выборка = Результат.Выбрать();

Пока Выборка.Следующий() Цикл
    XDTOЗапись = ФабрикаXDTO.Создать(ТипXDTOЗапись);
    XDTOЗапись.Номер=Строка(Выборка.Номер);
    XDTOЗапись.ВидОбразования=Строка(Выборка.ВидОбразования);
    XDTOЗапись.УчГод=Строка(Выборка.ГодОбучения);
    XDTOЗапись.Специальность=Строка(Выборка.Специальность);
    XDTOЗапись.Специализация=Строка(Выборка.Специализация);
    XDTOЗапись.УровеньПодготовки=Строка(Выборка.УровеньПодготовки);
    XDTOЗапись.UID=Строка(Выборка.УникальныйИдентификатор);
    XDTOЗапись.Актив=Строка(Выборка.Нагрузка);
    XDTOЗапись.Дисциплина=Строка(Выборка.Дисциплина);

    XDTOТаблица.record.Добавить(XDTOЗапись);

КонецЦикла;
Возврат XDTOТаблица;

КонецФункции

```

Рисунок 3 – Пример написания функции outDocUP в модуле web-сервиса

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПИ ТОКА ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОМПАЖЕ

Пугачёв Е.В., Кипервассер М.В., Герасимук А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Помпажем принято называть нестабильную работу компрессорной техники, вследствие чего возникают резкие скачки в давлении и колебания в объемах подачи рабочей среды – газовой или воздушной смеси.

Предпосылками для возникновения помпажа является высокая разница давлений на всасывающем и нагнетательном трубопроводах [1, 5]. При запуске компрессора давление в области нагнетания лавинообразно нарастает, в то время как во всасывающей камере – резко падает. В определенный момент может возникнуть ситуация, при которой сила сопротивления рабочей смеси будет превышать усилие, развиваемое компрессором, в результате чего направление движения газов изменится на противоположное. То есть помпаж воздухоудвки сопровождается обратным ходом рабочей смеси («заброс» рабочей смеси). Так называемая «граница помпажа» есть у каждого компрессора: при определенных условиях может возникать резонанс, вследствие которого возникнет помпаж. Риск появления резонансов выше в системах, в которых нагнетание создается несколькими машинами, работающими на одну сеть. Помпаж компрессора – явление циклическое: спад сменяется нарастанием. Преодолев так называемую «точку помпажа», компрессор вновь наращивает давление. Цикл повторяется до тех пор, пока силы нагнетания не превысят сопротивление. Как только это произойдет, помпаж турбокомпрессора или воздухоудвки прекратится.

При помпаже обычные многоступенчатые и одноступенчатые турбокомпрессоры начинают сильно вибрировать и нагреваться. Вследствие неупорядоченного движения газа, возникают посторонние шумы, вызванные нештатной работой механизма. Электродвигатель, мультипликатор и детали рабочих колёс подвергаются ударным нагрузкам. В целом, помпаж является аварийной ситуацией, приводящей к ускоренному износу элементов компрессора, а нередко – становится причиной выхода из строя компрессорной техники, запорной арматуры и трубопроводов.

Чтобы минимизировать риск возникновения помпажа, магистрали и сами компрессоры нужно защищать с помощью специальных устройств и приспособлений: перепускных клапанов, байпасов, дросселей, а также производить постоянный мониторинг работы компрессорного оборудования [8].

Для анализа режима работы турбокомпрессора и выявления помпажных явлений можно использовать косвенный метод – контроль тока статора приводного двигателя компрессора [9]. Так как помпаж – процесс колебательный, т.е. на валу двигателя будет колебаться нагрузка, то, очевидно, что в потребляемом токе будут появляться высшие гармоники или колебания его амплитуды, которые можно зафиксировать.

Для моделирования переходного процесса в цепи тока статора приводного двигателя турбокомпрессора требуется создать модель двигателя компрессора (в нашем случае – синхронный турбодвигатель СТД-1600, его питающей сети, механизма, а также физических явлений, сопровождающих возникновение помпажа в компрессоре. Таковыми являются колебания нагрузки на валу двигателя. В упрощённом виде это колебательный гармонический процесс переменной частоты.

Синхронная машина с демпферными обмотками достаточно точно описывается системой «двухфазных» уравнений [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = \frac{d\psi_d}{dt} - \omega\psi_q + r_1 i_d \\ U_q = \frac{d\psi_q}{dt} - \omega\psi_d + r_1 i_q \\ U_f = \frac{d\psi_f}{dt} + r_f i_f \\ 0 = \frac{d\psi_{yd}}{dt} + r_{yd} i_{yd} \\ 0 = \frac{d\psi_{yq}}{dt} + r_{yq} i_{yq} \\ M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \\ M = \psi_d i_q - \psi_q i_d \\ \omega_1 - \omega = \frac{d\theta}{dt} \end{array} \right. \quad (1)$$

где U_d, U_q – напряжения на зажимах статора;

Ψ_d, Ψ_q, i_d – потокосцепления и токи фаз статора;

r_1 – активное сопротивление обмотки фазы статора;

U_f – напряжение на зажимах обмотки возбуждения;

Ψ_f, i_f – потокосцепление и ток обмотки возбуждения;

r_f – активное сопротивление обмотки возбуждения;

$\Psi_{yd}, \Psi_{yq}, i_{yd}, i_{yq}$ – потокосцепления и токи демпферных обмоток по продольной и поперечной осям соответственно;

r_{yd}, r_{yq} – активные сопротивления демпферной обмотки по продольной и поперечной осям;

M – электромагнитный момент, M_c – момент сопротивления нагрузки, J – момент инерции вращающихся масс.

В качестве среды моделирования использовался программный комплекс Matlab Simulink. Уравнения системы (1) реализованы в стандартном блоке имитации синхронного двигателя [3]. Так как исследуемый двигатель неявнополюсный, то параметры для осей d и q задаются одинаковыми. Для упрощения анализа переходного процесса принимается, что турбокомпрессор питается от системы электроснабжения неограниченной мощности.

Модель турбокомпрессора основана на выражении, вычисляющем механическую мощность, которую необходимо подвести к турбокомпрессору от двигателя:

$$N_K = \frac{P_{ATM} Q_K}{\eta_{ИЗ} \eta_{ИЗ}} \ln \left(\frac{P_K}{P_{ATM}} \right), \quad (2)$$

где $\eta_{ИЗ}$ – изотермический КПД;

η_M – механический КПД;

P_{ATM} – атмосферное давление, кПа;

$P_K = P_{Кизб} + P_{ATM}$ – конечное давление воздуха на выходе из турбокомпрессора, кПа;

Q_K – производительность турбокомпрессора, м³/с.

Реализация в Simulink турбокомпрессора представлена на рисунке 1.

Помпаж, как уже было сказано в начале статьи можно охарактеризовать как процесс колебания давления (напора) в нагнетающем трубопроводе турбокомпрессора, который можно приближенно описать гармонической функцией синусоидально вида с переменной частотой.

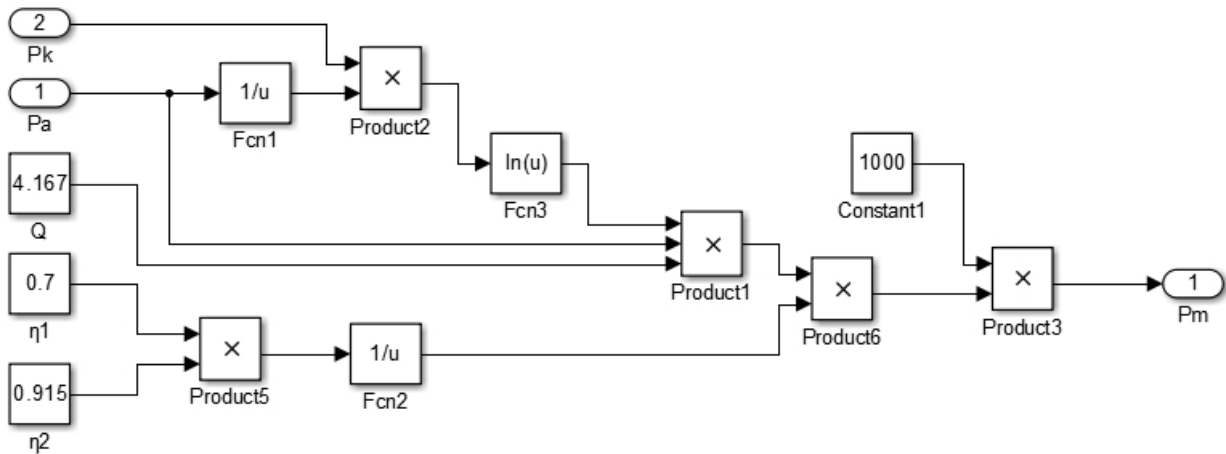


Рисунок 1 – Функциональная структура блока моделирования турбокомпрессора

Реализация в Simulink эффекта наброса нагрузки на вал двигателя от помпажного эффекта показана на рисунке 2.

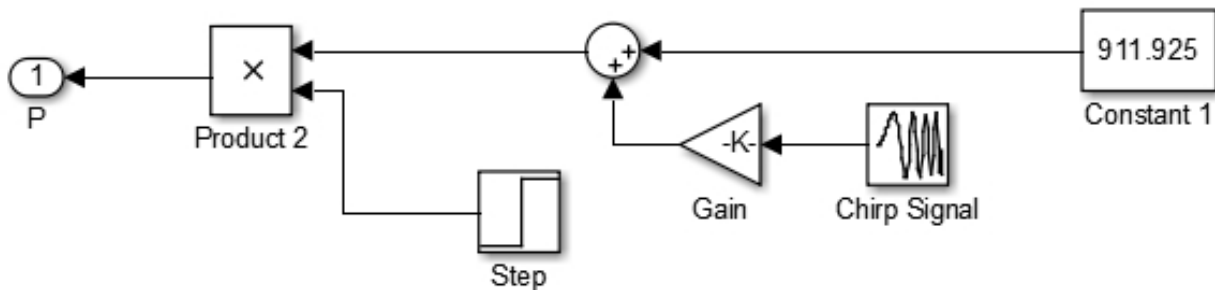


Рисунок 2 – Функциональная структура блока имитации давления в нагнетающем трубопроводе турбокомпрессора в следствии помпажного эффекта

Элемент «Shirp Signal» реализует синусоидальный сигнал переменной частоты с амплитудой равной 1. Элемент «Gain» усиливает сигнал до требуемой величины. Элемент умножения «Product 2» и элемент ступенчатого сигнала «Step» имитируют момент времени, когда возникает помпаж. Начальные значения ступенчатого сигнала рано 0, а в задаваемый момент времени – 1.

Схема модели компрессорной установки и питающей сети приведена на рисунке 3.

Модель собрана из стандартных блоков Simulink\Simscape\SimPowerSystems. Номинальное давление воздуха в нагнетающем трубопроводе турбокомпрессора имитируется элементом «Out P», а давление в ходе в турбокомпрессор, равное атмосферному блоком «In P». Колебание давления в нагнетающем трубопроводе в следствии помпажного эффекта имитируется суммированием постоянного значения номинального давления турбокомпрессора и колебательной составляющей от блока имитации помпажа.

Моделирование производилось для компрессорной установки К-250 с синхронным неявнополюсным двигателем СТД-1600 мощностью 1600 кВт [4]. Помпаж моделируется синусоидальным колебанием давления в нагнетающем трубопроводе компрессора с частотой, изменяемой от 2 до 30 Гц и амплитудой равной трёхкратному номинальному давлению (номинальное давление составляем 911,925 кПа, [7]).

Анализ диаграмм тока свидетельствует о том, что при помпаже происходят колебания как амплитуды тока статора, так и частоты этих колебаний. При частотах колебаний от 2 до 12 Гц амплитуда колебаний может достигать 1,7 крат номинального рабочего тока, что в свою очередь позволяет зафиксировать его стандартными методами измерений и, тем самым, диагностировать ненормальный режим работы.

При помпаже на частотах 13 – 30 Гц амплитуда колебаний падает до значения 1,44 крат номинального рабочего тока. При данных частотах колебаний газовой струи целесообразно использовать гармонический анализ составляющих тока статора, результаты которого также будут зависеть от возникающих при помпаже явлений.

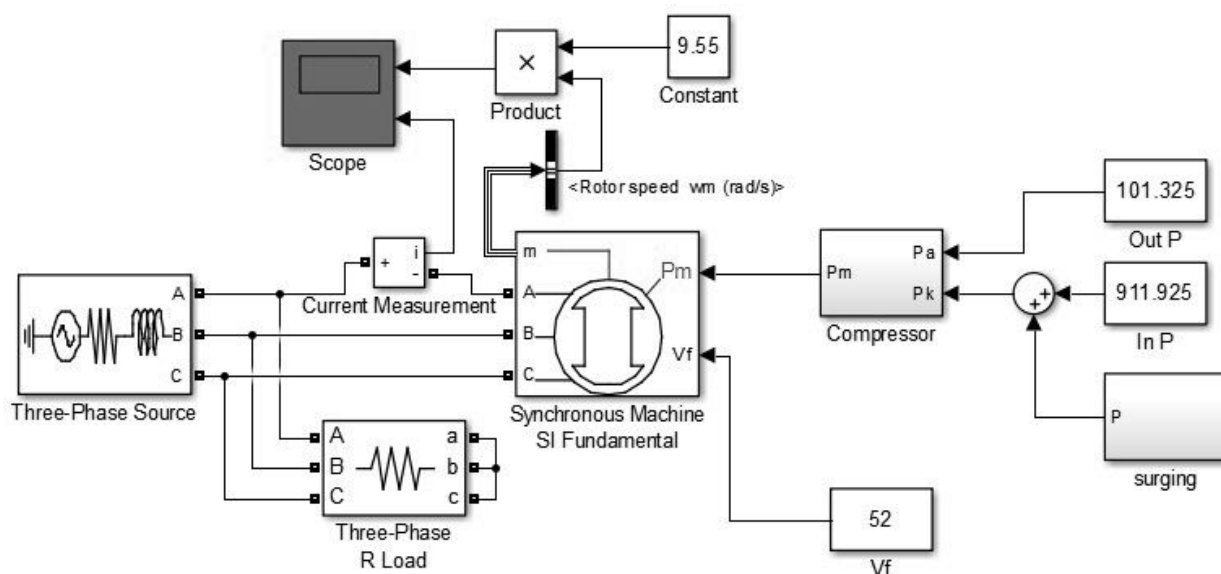


Рисунок 3 – Функциональная структура математической модели компрессорной установки и питающей сети

Исходя из вышесказанного, анализ тока статора приводного электродвигателя может быть использован в автоматической системе мониторинга режимов работы турбокомпрессора для выдачи команд на антипомпажные устройства для устранения данного явления.

Библиографический список

1. Б. Эккерт. Осевые и центробежные компрессоры. Пер.с нем. / Пер. Фролов Е.С., Захаров Б.Д. - М.: Гос.науч.-техн.изд-во машиностроит.лит., 1959. - 678 с.
2. Электрические машины (специальный курс) / Г.А. Сипайлов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 77–88.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. – СПб.: Питер, 2007. – С. 11–34
4. Техническое описание - Компрессоры К500-61-1(2), К350-62-1, К250-61-1(2). М.: ТЕХМАСНЕХПОРТ, 2007. - 22 с
5. Теверовский Б.З., Даничек Е.А. Компрессорные машины, Днепропетровск, 1966, 150 с.
6. Горев, А. А. Переходные процессы синхронных генераторов / А. А. Горев. - М.: ГЭИ, 1960. - 551с.
7. Пугачёв Е.В., Кипервассер М.В., Герасимук А.В. Исследование переходного процесса в цепи тока приводного электродвигателя при аварии турбокомпрессора. Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 2 (12). С. 45-48.
8. <http://www.blowers.ru>
9. Савельев А.Н. Кипервассер М.В. Аниканов Д.С. К обоснованию комплексного метода оценки степени работоспособности современных технологических объектов. Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. - № 12. – С. 37 – 41.
10. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник / Г. Ф. Быстрицкий. – 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2012. – 352 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Кочкин А.А., Калашников С.Н., Красноперов С.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Реализация пользовательского интерфейса дополненной реальности на мобильных клиентах может быть произведена с использованием различных библиотек, таких как Metaio. Сравнительный анализ библиотек освещен в [1].

Библиотека реализации пользовательского интерфейса дополненной реальности Metaio в версии для нативной разработки под Android поставляется конечным потребителям в виде проекта-модуля, который необходимо интегрировать в проект.

Для интеграции такого модуля существует простое решение, которое рекомендовано на сайте производителя – добавление модуля в проект. Данное решение имеет ряд трудностей: каждый новый разработчик в проекте должен будет выполнять интеграцию вручную, автоматическая сборка проекта будет затруднительна, а иногда и вовсе невозможна и следить за версиями, а тем более переключаться между ними становится затруднительно. Помимо этого, код модуля попадет в репозиторий, что создаст дополнительные трудности в управлении проектом: модуль увеличивает физический размер репозитория, что приводит к созданию больших файлов индекса репозитория и понижает общую производительность системы. Более того, в случае отказа от данной библиотеки после долгого использования ее код все еще будет оставаться в репозитории.

Существуют несколько способов удаления кода уже не используемой библиотеки из системы контроля версий целевого проекта. К сожалению, возможна ситуация, когда придется вернуться к изначальной библиотеке: любой из возможных способов потребует модификации истории изменений проекта. Конечно, в ручном режиме восстановить проект возможно, но это займет значительное время, нежели переключение версии «на лету» используя автоматический режим.

Таким образом, требуется решить две задачи: задачу создания системы контроля версий и задачу интеграции пакета в сборщик проектов. Решение данных задач специфично для каждого из возможных инструментов. В данном материале система контроля версий выбран Git, а система сборки – Gradle.

К сожалению, модуль распространяется в виде архива, что не позволяет использовать его для интеграции в текущую систему контроля версий. Так как системой контроля версий выбран Git имеет смысл создать репозиторий для данной библиотеки. Для этого следует выполнить следующие команды в командной строке:

```
$ wget http://dev.metaio.com/fileadmin/download-sdk-pc  
$ unzip Metaio.exe -d / Metaio  
$ cd ./Metaio
```

Данный код загружает в текущую папку последнюю актуальную версию sdk и распаковывает ее. Если проект не использует систему сборки Gradle, то в корне проекта понадобится выполнить следующее:

```
$ cd ./Metaio  
$ touch build.gradle  
$ gradle wrapper --gradle-version 2.2.1
```

Приведенные выше действия создают gradle проект и добавляют gradle wrapper для систем, в которых gradle не установлен[2].

Теперь требуется записать в файл build.gradle конфигурацию для сборки:

```
$ echo "apply plugin: 'com.android.library'" > build.gradle
```

Приведенные выше действия позволяют использовать библиотеку как gradle проект.

Далее следует инициализировать систему контроля версий git и создать шаблонный файл: .gitignore, который описывает правила для исключения ненужных для системы контроля версий файлов, например, временных файлов сборки. Теперь можно подключить данную библиотеку в проект как submodule [3] следующими командами:

```
$ git submodule add {you_git_repo} Metaio
$ git submodule init
$ git submodule update
```

Следующим действием нужно добавить модуль к системе сборки проекта:

```
$ echo "include ':MetaioSdk:metaioSDK'" > settings.gradle
```

Этих действий достаточно чтобы подключить проект и начать его использовать, но могут возникнуть потребности в интеграции android-maven-plugin, для этого следует указать плагин в корневом файле проекта MetaioSdk/build.gradle:

```
dependencies {
    classpath 'com.android.tools.build:gradle:1.2.3'
    classpath 'com.github.dcendents:android-maven-plugin:1.2'
}
```

А в файле конфигурации самой библиотеки: MetaioSdk/ metaioSDK/ build.gradle , понадобятся следующие модификации:

```
$ sed -i "apply plugin: 'android-maven'" build.gradle
```

Приведенное выше решение требует временных затрат на внедрение в каждый новый проект, но эту проблему можно решить, если выложить целевую библиотеку в maven репозиторий. Тогда интеграция в другой проект будет сводиться к добавлению строки в блок dependencies.

Использование публичных репозитория может быть ограничено пользовательским соглашением на использование библиотеки. Для этих случаев можно использовать внутри-корпоративный maven репозиторий.

Если же лицензионное соглашение не оговаривает данный пункт, то можно использовать публичные maven репозитории maven central или java central (repositories {jcenter()}), но публикация в них отнимает значительное время, особенно в первый раз. Для прототипов можно воспользоваться репозиторием ускоренной публикации- jitpack (repositories {maven {url "https://jitpack.io" }}).

Публикация в данном репозитории достаточно быстра, для этого необходимо создать релиз в github-репозитории (bitbucket репозитории тоже поддерживаются). Релиз должен быть сконфигурирован как библиотека (apply plugin: 'android-maven'). Это позволит серверам jitpack при первом обращении к данной зависимости собрать проект и предоставить к нему доступ.

Для доступа к данному проекту требуется добавить путь к удаленному maven репозитори:

```
repositories {
    maven { url "https://jitpack.io" }
}
```

и подключить зависимость:

```
dependencies {
    compile 'com.github.kolipass:MetaioSdk:6.0.2.1@aar'
}
```

Как можно заметить – указан специфический тип зависимости aar (Android ARchive) вместо общепринятого jar (Java ARchive). Данный контейнер позволяет включить в контейнер зависимости самой библиотеки.

Таким образом были решены обозначенные ранее задачи: подключение сторонней библиотеки в систему сборки проекта и в систему контроля версий. Данное решение позволяет гибко манипулировать версией сторонней библиотеки. Если сторонние разработчики обновят библиотеку в системе контроля версий, то конечному потребителю будет достаточ-

но переключиться на нее, что достаточно удобно: переключение между версиями библиотеки потребует немного времени. Такой подход позволяет использовать самые последние версии сторонней библиотеки, но в случае неполадок с новыми версиями быстро переключаться на старые, стабильные версии.

Библиографический список

1. Кочкин А.А., Сравнительный обзор технологий реализации подходов дополненной реальности /Кочкин А.А., Красноперов С.Ю., Калашников С.Н. / Перспективы развития науки и образования 30 декабря 2014 — «АР-Консалт» Москва 2015. – С. 42 – 46.
2. Hans Dockter. The Gradle Wrapper / Hans Dockter, Adam Murdoch // [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://docs.gradle.org/current/userguide/gradle_wrapper.html
3. Scott Chacon . Submodules // Pro GIT.: Изд-во Apress; 2nd ed. С. 341 – 360.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УНИКАЛИЗАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Белый А.М., Головина Д.А., Милованов М.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Использование современных программных средств, предназначенных для работы с текстами, является очень актуальным вопросом для всей индустрии печати. Использование уникальных текстов дает неоспоримые преимущества, как автору текста, так и читателю. Одной из часто возникающих проблем при публикации научных статей является недостаточная уникальность в связи с цитированием своих же собственных статей. Для решения проблемы уникальности разработана автоматизированная системы, позволяющая создавать уникальные тексты для публикации. Система позволяет проводить анализ уникальности. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения разработанного алгоритма для получения уникальных текстов статей и иных публикаций.

Как правило, программы для уникализации текста имеют базу данных для хранения синонимов, при помощи которой осуществляется замена слов. Эти программы могут работать в автоматическом и ручном режимах, тем самым предоставляя пользователю возможность выбора синонимов из списка. При этом предусмотрена возможность занесения пользователем, как новых слов, так и пар «слово-синоним» в базу данных.

Текст для обработки может быть введен в систему при помощи клавиатуры, или же загружен из файла. После преобразования, полученный текст может быть сохранен в текстовый файл.

Задачи, решаемые разработанной автоматизированной системы [1]:

- 1) Создание базы данных слов, с возможностью хранения их атрибутов, таких как род, число, падеж и т.д.
- 2) Разработка механизма замены слов.
- 3) Реализация механизма преобразования текста в соответствии с правилами русского языка.
- 4) Сопоставление исходного и полученного текстов.
- 5) Реализация механизма сохранения и загрузки текстов.

Основой для алгоритма работы программы является грамматический разбор слов в соответствии с правилами русского языка. Приложение «умеет» подбирать синонимы только к словам трех частей речи: существительное, прилагательное и глагол. После отнесения конкретного слова к какой-либо части речи к нему подбирается синоним, из уже имеющихся в базе данных, относящийся к этой части речи. Блок-схема алгоритма уникализации текста является авторским и представлена на рисунке 1. В основе автоматизированной системы лежит следующий алгоритм:

– на вход подаётся слово, определяется его часть речи;

- в зависимости от части речи происходит замена слов синонимами, изменение рода слова;
- полученное в результате преобразования слово синхронизируется с остальным текстом.

Основным языком программирования для реализации данного проекта выбран язык Pascal и SQL, поэтому необходимо использовать официальную документацию к данным языкам [2].

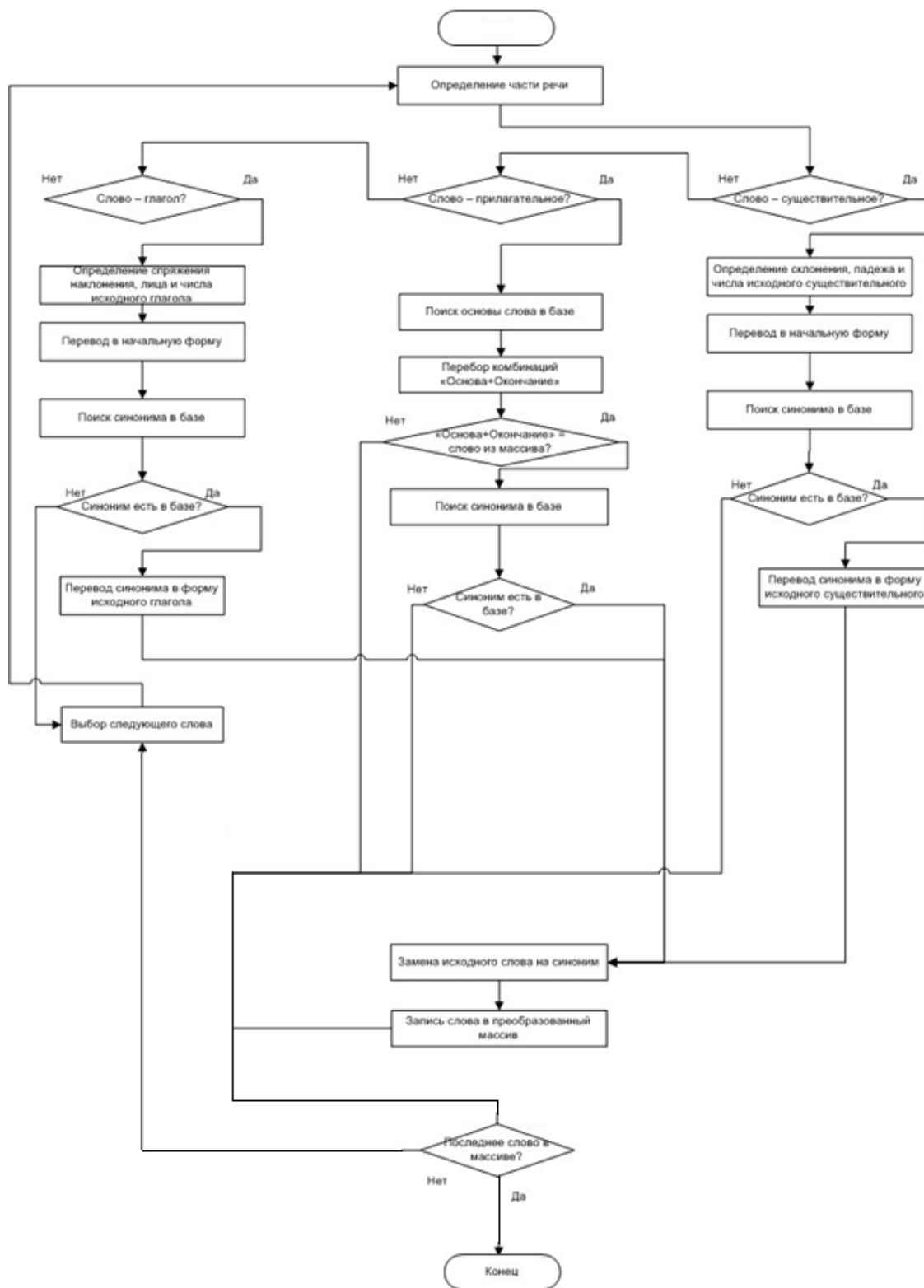


Рисунок 1 – Блок схема алгоритма уникализации текста

На рисунке 2 приведен фрагмент структура базы данных, предназначенной для хранения информации о словах и синонимах. В программе используются классы для представления слов в виде одной из следующих частей речи: существительное, прилагательное или глагол.

Предполагается, что пользователи смогут работать с приложением только в однопользовательском режиме, т.е. у каждого пользователя будет персональная информационная база с уникальными синонимами. Это позволит использовать приложение без дополнительных затрат. Также приложение обладает интуитивно понятным интерфейсом. Для тестирования программы был взят отрывок из романа Л.Н. Толстого «Война и мир»:

«Толпа подошла к большому столу, у которого, в мундирах, в лентах, седые, плешивые, сидели семидесятилетние вельможи-старики, которых почти всех, по домам с шутами и в клубах за бостоном, видал Пьер. Толпа подошла к столу, не переставая гудеть»

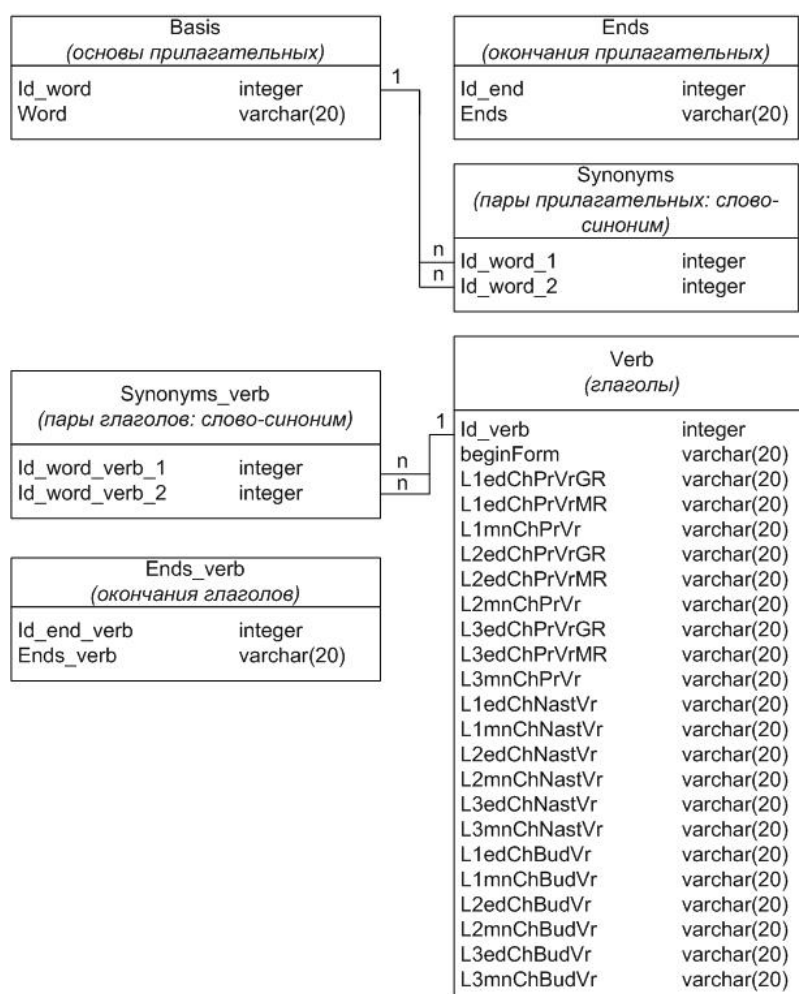


Рисунок 2 – Фрагмент базы данных

При тестировании текст как загружался из файла, так и вводился с клавиатуры в поле ввода. На этапе ввода текста не было выявлено отклонений в работе программы.

После преобразования получился следующий текст:

«толпа приблизилась к огромному столу, у которого, в мундирах, в лентах, седые, лысые, расположились семидесятилетние вельможи-старики, которых почти всех, по домам с шутами и в клубах за бостоном, наблюдал Пьер. толпа приблизилась к столу, не переставая шуметь»

В результате работы программы была произведена замена слов исходного текста на синонимы, имеющиеся в базе.

Исходный и преобразованный текст отличаются на 17,50 %. Общее количество слов в тексте без учета пробелов, с учетом знаков препинания, отделенных пробелами: 40. Количество слов, замененных на синонимы: 7.

Таким образом, разработанное приложение позволяет повышать уникальность текстовой информации путём замены части слов и преобразования их. В итоге данная автоматизированная система позволяет упростить процесс публикации своих научных статей. Дальнейшее развитие данного приложения позволяет изменять порядок слов.

Библиографический список

1. Тидвелл Д.: Разработка пользовательских интерфейсов. «Питер», 2008, – 416 с.
2. Милованов М.М. Современные подходы к моделированию и анализу бизнес-процессов предприятия [Электронный ресурс]//«Управление экономическими системами. Электронный научный журнал», 2011, №11. – Режим доступа: <http://www.uecs.ru/>

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «PORTFOLIO SIBSIU»

Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Сегодня электронное обучение, дистанционные образовательные технологии активно используются в образовании, изменяя привычную систему образования и позволяя реализовать концепцию «обучения в течение всей жизни» (lifelong learning). При мониторинге Министерством образования и науки РФ уровня развития ЭО в вузе оценивается, в том числе и электронная информационная образовательная среда (ЭИОС) университета [1 – 3]. В новых федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования (ФГОС ВО 3+) впервые содержится ряд требований к ЭИОС вуза, одно из которых «... формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение работ обучающегося, рецензий и оценок на эти работы со стороны любых участников образовательного процесса» [4]. В связи с этим задача разработки информационной системы для формирования электронного портфолио обучающегося является актуальной.

Базовой составляющей электронной информационно-образовательной среды Сибирского государственного индустриального университета, обеспечивающей реализацию учебного процесса, является система управления обучением Moodle [5 – 7].

Moodle – это свободно распространяемое программное обеспечение с лицензией GPL, что дает возможность бесплатно использовать систему, а также производить необходимые изменения под конкретные задачи образовательного учреждения. Благодаря развитой модульной архитектуре, возможности Moodle могут легко расширяться сторонними разработчиками, позволяя последним создавать различные типы дополнений, примерами которых являются: элементы курса, типы заданий, типы вопросов в тестах, плагины подписки на курсы, хранилища файлов, блоки, плагины поиска и другое. Наибольший интерес для разработчиков представляет плагин типа блок. Блок – это стандартный контейнер для отображения виджетов на страницах Moodle [8]. По своей сути они создаются как набор пользовательских скриптов в директории с именем блока.

В настоящее время в Moodle нет стандартного функционала, позволяющего сформировать электронное портфолио. Созданный сторонними разработчиками плагин Exabis E-Portfolio [9] не соответствует требованиям ФГОС ВО 3+, в нем отсутствует автоматическая синхронизация выложенных в Moodle работ обучающихся с сохранением отзыва и итоговой оценки на выполненное задание. Кроме того он не имеет инструментов для контроля и анализа процесса заполнения портфолио студентами: нет отчетов по наполненности портфо-

лио, нет возможности контролировать загружаемые файлы, что может привести к хранению в портфолио некачественного или некорректного контента.

На основе проведенного анализа было принято решение реализовать функционал электронного портфолио в виде информационной системы «PORTFOLIO SIBSIU», разработанной в качестве дополнительного модуля (плагины) типа блок к системе Moodle.

Информационная система «PORTFOLIO SIBSIU» должна обеспечивать накопление, систематизацию и учет комплекта электронных документов, характеризующих индивидуальные достижения обучающегося по различным направлениям деятельности.

Электронное портфолио содержит документальные подтверждения достижений обучающегося, размещенные в шести разделах: «Учебная деятельность по ООП»; «Научно-исследовательская деятельность»; «Прочие образовательные достижения»; «Общественная деятельность»; «Культурно-творческая деятельность»; «Спортивная деятельность».

Раздел «Учебная деятельность по ООП» в электронном портфолио должен формироваться автоматически, путем импорта всех работ, загруженных обучающимися в электронный курс в системе Moodle, оценок, выставленных за выполнение этих работ и отзывов (рецензий) преподавателей на эти работы. Остальные разделы должны заполняться обучающимся самостоятельно. Контролем процесса заполнения студентами электронного портфолио должен заниматься специально назначенный модератор, закрепленный за группой, который оказывает информационно-консультационную поддержку обучающемуся по формированию портфолио, осуществляет контроль за заполнением и достоверностью размещаемой информации.

Наполнение разделов портфолио, заполняемых обучающимся самостоятельно, должно происходить следующим образом: студент создает заявку на внесение информации в электронное портфолио, в которой дает краткое описание размещаемой информации и загружает файл с документальным подтверждением достижения. Модератор рассматривает заявку обучающегося и принимает решение о подтверждении или отклонении заявки. Только в случае подтверждения заявки модератором информация добавляется в портфолио обучающегося.

Таким образом, разрабатываемая информационная система должна реализовывать следующий функционал:

- импорт всех работ, загруженных обучающимися в электронный курс в системе Moodle, а также оценок, выставленных за выполнение этих работ, и отзывов (рецензий) преподавателей на эти работы;
- назначение модераторов академическим группам;
- заполнение обучающимся электронного портфолио через формирование заявки на размещение документов, рассматриваемой модератором;
- формирование отчетов о деятельности модераторов и обучающихся;
- возможность изменения и расширения категорий портфолио.

Одним из принципов создания информационной системы было отделение логики приложения от его вида. Это позволяет разбивать итоговое приложение на отдельные компоненты, которые оказывают минимальное влияние друг на друга. Например, в случае изменения способа отображения данных нет никакой необходимости в изменении алгоритмов формирования этих данных. Достижению этих целей способствовали шаблонизаторы Twig [10] и Handlebars [11]. Первый шаблонизатор используется на стороне сервера, второй – на стороне клиента при работе с Ajax-запросами. Ajax-запросы, используемые в портфолио, позволяют снизить нагрузку на сервер и время отклика приложения, перекладывая необходимость обработки шаблонов на клиентскую сторону.

В структуре блока используются следующие основные файлы:

- /block/xxx/version.php – содержит текущую версию плагина;
- /block/xxx/db/install.xml – выполняется во время первой установки плагина, содержит описания создаваемых таблиц в формате XMLDB [8];

- /block/xxx/db/upgrade.php – выполняется во время обновления версии плагина, обычно содержит алгоритмы, изменяющие структуру базы данных;
- /block/xxx/lang/en/block_xxx.php – языковой файл;
- /block/xxx/settings.php – хранит конфигурационные настройки плагина;
- /block/xxx/block_xxx.php – основной скрипт блока, содержит все базовые настройки плагина, а также форму его отображения.

Вместо xxx предполагается имя плагина. Например, если именем плагина является sibportfolio, то конечный путь к файлу с описанием блока будет /block/sibportfolio/block_sibportfolio.php.

При разработке плагина использовался интерфейс программирования приложений Moodle API, который предлагает разработчику массу полезных функций.

Для доступа к базе данных применяется Data manipulation API [8]. Обращение к возможностям данного API происходит через глобальную переменную Moodle \$DB.

При работе с формами используется Form API [8]. Все формы Moodle наследуются от базового класса moodleform и реализуют методы definition() и validation(). Первый метод содержит определение формы: компоненты, кнопки, подсказки и другое. Moodle-формы поддерживают множество доступных компонентов, среди которых присутствуют как стандартные textbox, checkbox, select, так и нестандартные, как, например, editor, filemanager и другие. В методе validation() содержатся проверки на допустимость параметров, введенных в форму.

Работа с файлами производится через File API [8]. Таким образом для файлов портфолио используется стандартное хранилище Moodle (папка moodledata). Работа с хранилищем производится через класс file_storage.

При выводе шапки и подвала на веб-страницах в плагине портфолио применяется Output API [8].

Для доступа к конфигурации Moodle используется глобальная переменная \$CFG.

При работе с веб-страницами используется Page API [8]. Данное API позволяет через глобальную переменную \$PAGE установить заголовки страницы, подключать к ней стили и javascript. Работа с javascript ведется с помощью библиотеки jQuery.

Для получения доступа к электронному портфолио необходимо авторизоваться в системе Moodle. Внешний вид главной страницы авторизованного пользователя с выделенным блоком доступа к электронному портфолио представлен на рисунке 1.

На рисунке 1 показан вид блока «PORTFOLIO SIBSIU» для администраторов и модераторов, блок «PORTFOLIO SIBSIU» для обучающихся содержит только ссылку «Мое портфолио». После перехода по ссылке «Мое портфолио» будет осуществлен переход на главную страницу профиля портфолио.

На рисунке 2 показана главная страница портфолио модератора и администратора. Разделы «Управление группами» (для назначения или удаления академическим группам модераторов), «Управление пользователями» (для ввода дополнительной информации о студентах) и «Управление категориями» (для изменения вида и количества категорий) доступны только администратору.

Содержимое категории «Учебная деятельность по ООП» формируется автоматически. В нее попадают все загруженные работы обучающегося (лабораторные работы, контрольные работы, рефераты и т.д.), оценки и отзывы преподавателей из системы Moodle (рисунок 3). Содержимое категории «Учебная деятельность по ООП» получается путем нескольких SQL-запросов к базе данных Moodle. В столбце файлы отображаются все попытки сдачи задания обучающимся. Оценка и отзыв относятся к последней попытке.

Остальные категории портфолио заполняются студентом самостоятельно. При загрузке, изменении или удалении файлов в портфолио обучающимся создаются соответствующие заявки. В плагине предусмотрена возможность настройки максимального размера загружаемых файлов, а также установки максимального числа ожидающих заявок на одного пользователя.

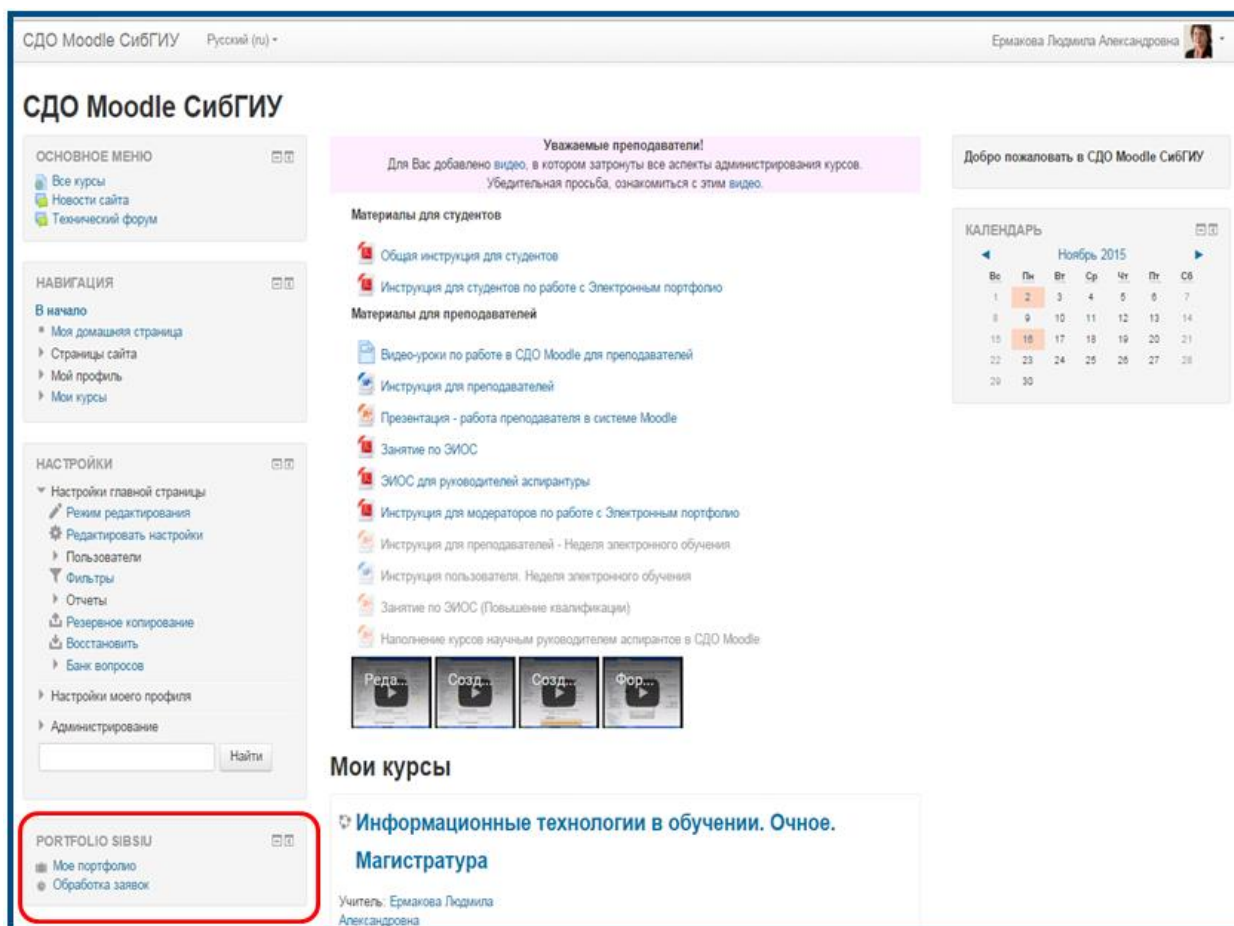


Рисунок 1 – Блок доступа к электронному портфолио на главной странице авторизованного пользователя в системе Moodle

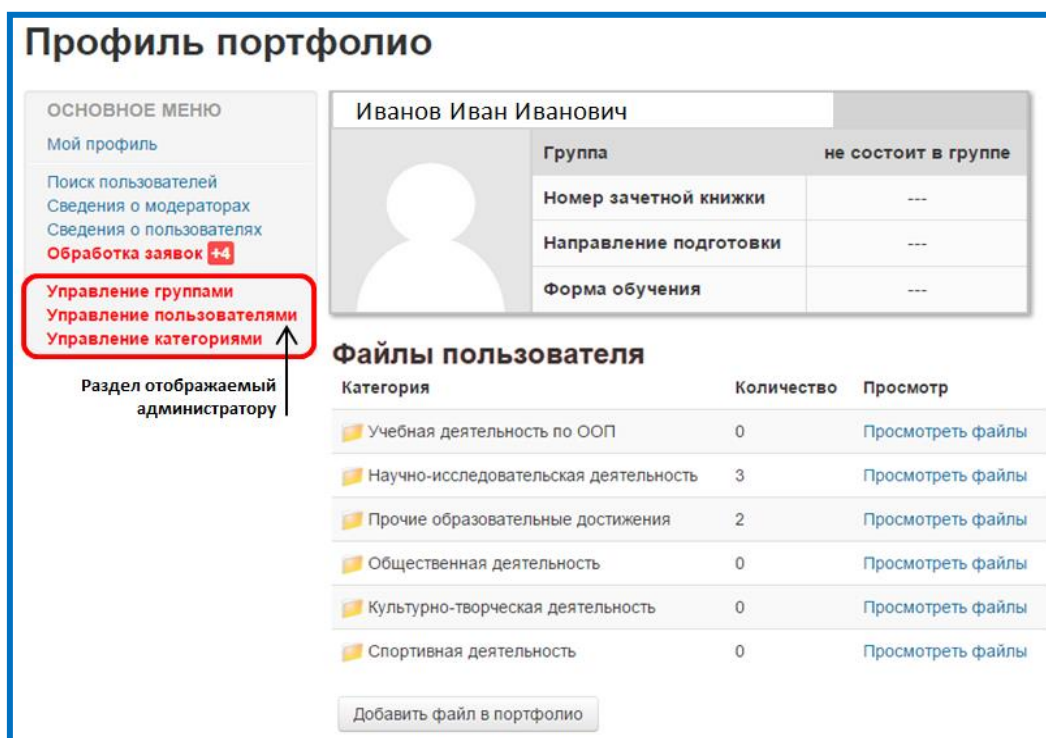


Рисунок 2 – Главная страница профиля портфолио

| Учебная деятельность по ООП (Курмашева Елизавета Петровна) | | | |
|--|--|---------|--|
| Дискретная математика. Бакалавриат | | | |
| Задание | Файлы | Оценка | Отзыв |
| Раздел 3. Сетевые графики. Задания | 1) Курмашева Елизавета ИП-142.doc | Зачтено | Отзыв ЭН Курмашева Е.П.doc |
| Самостоятельная работа, часть 1 | 1) DiskretMat.docx 2) DiskretMat.docx | Зачтено | 2 Отзыв СР1 Курмашева Е.П.doc |
| Самостоятельная работа, часть 2 | 1) ДискрМатЧ2.docx | Зачтено | Отзыв СР2 Курмашева Е.П.doc |
| Самостоятельная работа, часть 3 | 1) Diskr3.docx | Зачтено | Отзыв СР3 Курмашева Е.П..doc |
| Иностранный язык. Бакалавриат | | | |
| Задание | Файлы | Оценка | Отзыв |
| Грамматический тест № 2 | 1) test.docx | Зачтено | Неправильные ответы даны на № 4,7, 17,25. Зачтено |
| Грамматический тест № 3 | 1) Kurmasheva_ip142.docx | Зачтено | Неправильные ответы даны на задания 1, №5, 2, №2, 3, №4, 4 |

Рисунок 3 – Содержимое категории «Учебная деятельность по ООП»

В качестве групп используются глобальные группы системы Moodle. Обработкой заявок занимаются модераторы. Они могут принять заявку (при этом они могут внести в нее какие-либо изменения), либо отклонить ее с указанием причины. Также им доступен отчет о деятельности обучающихся, в котором выводятся сведения по наполненности портфолио всех студентов группы, а также любого студента из закрепленной группы.

Таким образом, электронное портфолио реализовано в виде информационной системы «PORTFOLIO SIBSIU» в качестве дополнительного модуля (плагина) в системе Moodle и является частью электронной информационно-образовательной среды университета. Обучающийся имеет возможность загрузить в портфолио документы, подтверждающие личные достижения в различных областях, при этом каждое действие контролируется модератором, что позволяет повысить качество наполнения и избежать ошибок при формировании портфолио.

Информационная система «PORTFOLIO SIBSIU» удовлетворяет требованиям ФГОС 3+ и обеспечивает накопление, систематизацию и учет комплекта электронных документов, характеризующих индивидуальные достижения обучающегося по различным направлениям деятельности.

Библиографический список

1. Разработка методики мониторинга уровня развития электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в вузах [Электронный ресурс] / М.Б. Малинов, С.П. Мочалов, В.С. Третьяков, Л.А. Ермакова, Л.Д. Павлова//Современные проблемы науки и образования. -2013. -№ 5. – Режим доступа – [http://www.science-education.ru/111-10642]. – (дата обращения: 12.10.2015).
2. Разработка системы показателей для мониторинга вузов в области электронного обучения и дистанционных образовательных технологий / М.Б. Малинов, С.П. Мочалов, В.С. Третьяков, Л.А. Ермакова, Л.Д. Павлова, О.А. Кондратова // Открытое и дистанционное образование. -2013. -№ 4 (52). -С. 10-13.
3. Комплексная система оценки уровня развития электронного обучения в вузе [Текст] / М.Б. Малинов, С.П. Мочалов, Л.А. Ермакова, Л.Д. Павлова, О.А. Кондратова // Проблемы современного образования: Материалы IV международной научно-практической конференции, 10-11 сентября 2013г. -Прага, Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-

CZ», 2013. -С. 74 -76.

4. ФГОС ВО по направлениям бакалавриата [Электронный ресурс] – Режим доступа – [<http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4>] – Загл. с экрана (дата обращения: 12.10.2015).
5. Ермакова Л.А. Применение сети интернет для организации учебного процесса на заочном факультете университета: учебное пособие / Л.А. Ермакова, П.Г. Пермяков // Новокузнецк: СибГИУ, 2006. 106 с.
6. Ермакова Л. А. Построение единой информационно-образовательной среды университета // Информационные технологии. Проблемы и решения : материалы международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – Т. 1. - С. 151-155.
7. Милованов М.М. Опыт внедрения и использования системы дистанционного обучения Moodle в ВУЗе // Информационные технологии. Проблемы и решения : материалы международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – Т. 2. - С. 40-43.
8. MoodleDocs [Электронный ресурс] – Режим доступа – [https://docs.moodle.org/dev/Main_Page] – Загл. с экрана (дата обращения: 12.10.2015).
9. Moodle plugins directory: Exabis E-Portfolio [Электронный ресурс] – Режим доступа – [https://moodle.org/plugins/view/block_exaport] – Загл. с экрана (дата обращения: 12.10.2015).
10. Homepage - Twig - The flexible, fast, and secure PHP template engine [Электронный ресурс] – Режим доступа – [<http://twig.sensiolabs.org>] – Загл. с экрана (дата обращения: 12.10.2015).
11. Handlebars.js: Minimal Templating on Steroids [Электронный ресурс] – Режим доступа – [<http://handlebarsjs.com>] – Загл. с экрана (дата обращения: 12.10.2015).

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА ФИРМЫ FASTWEL

Кубарев В.А., Галлямова О.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Действующие в настоящее время Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования предполагают, что значительная часть времени аудиторных занятий в учебном процессе как при подготовке бакалавров, так и магистров должна уделяться лабораторным и практическим работам, что соответственно требует хорошей лабораторной базы.

В Сибирском государственном индустриальном университете на кафедре автоматизированного электропривода и промышленной электроники на базе контроллеров СРС 10703 фирмы Fastwel [1], разработаны и смонтированы стенды-тренажеры СТФ-1 для проведения лабораторных работ по дисциплине «Программируемые контроллеры» для направлению «Электроэнергетика и электротехника» для профиля подготовки бакалавров «Электропривод и автоматика», а также по дисциплине «Программирование микропроцессорных устройств» по программам подготовки магистров «Автоматизированные электро-механические комплексы и системы» и «Промышленная электроника и микропроцессорная техника».

Разработанные лабораторные стенды позволяют освоить работу с устройствами сопряжения с объектом, встроенными в контроллер СРС10703, такими как дискретные и аналоговые входы и выходы, ЖК-дисплей, последовательные порты и встроенные таймеры, а также разрабатывать программу для управления простым технологическим процессом. Кроме того, студенты получают навыки программирования ПК-совместимых контроллеров с использованием приемов объектно-ориентированного программирования [2, 3]. В качестве среды разработки программного обеспечения при выполнении лабораторных работ на

данном стенде применяется среда Open Watcom.

Состав стенда-тренажера на базе ПК-совместимого контроллера Fastwel CPC10703 представлен на рисунке 1.

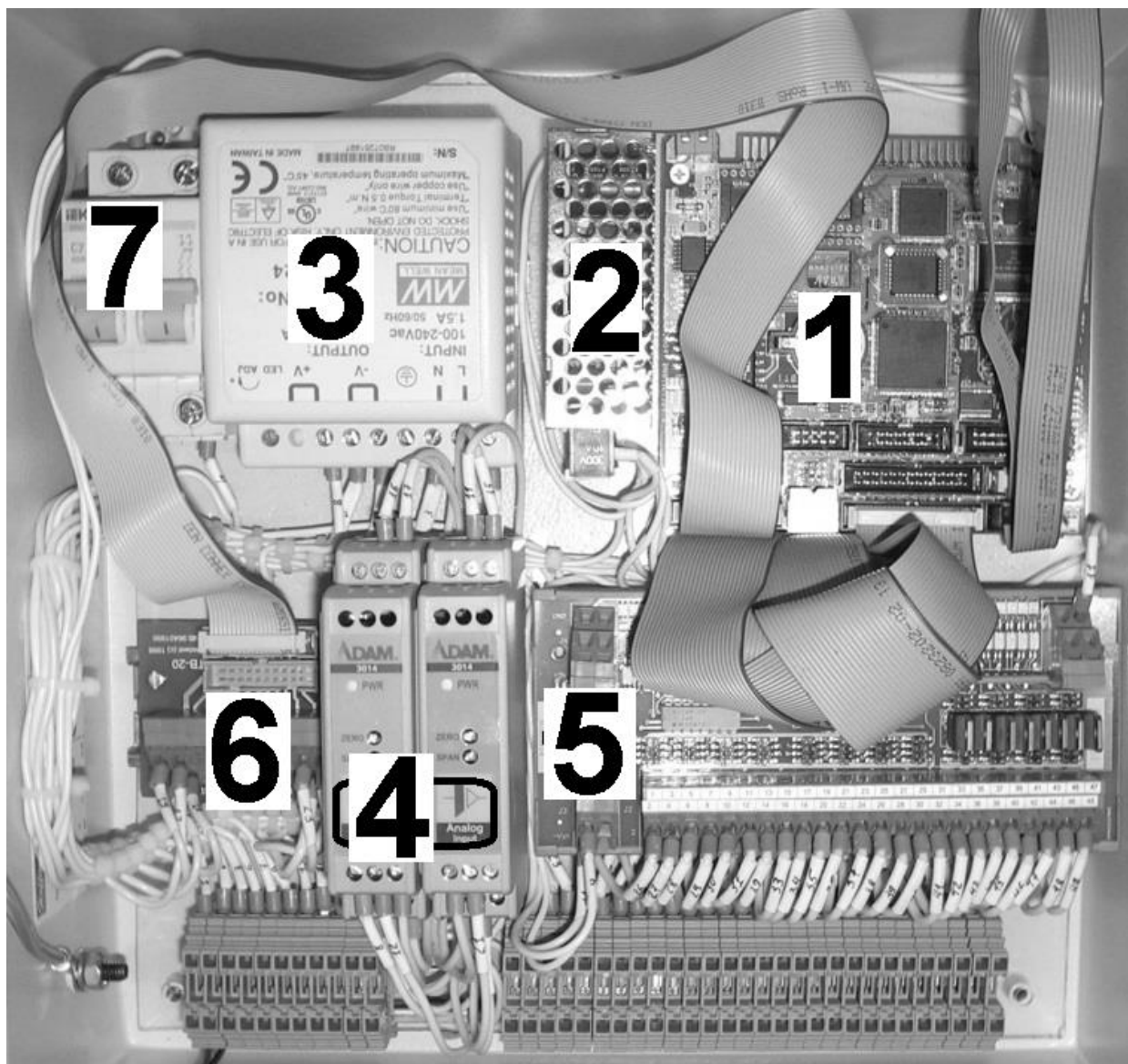


Рисунок 1 – Состав стенда-тренажера на базе ПК-совместимого контроллера Fastwel

В состав стенда-тренажера входят:

- Контроллер CPC10703 (CPU186R-MX) (1).
- Источник питания 5 В, 3,0А, для питания платы контроллера и устройств получающих от него питание (2).
- Источник питания 24 В, 2,5А, для питания модуля гальванической развязки дискретных сигналов ТВІ 16/8-С и модулей нормализации аналоговых сигналов (3).
- Модули нормализации аналоговых сигналов (4).
- Плата гальванической развязки дискретных сигналов ТВІ 16/8-С (5).
- Плата коммутации аналоговых сигналов (6).
- Выключатель автоматический (7).
- На передней панели стенда-тренажера (рисунок 2) находятся:
 - ЖК-дисплей 4 строки по 20 символов.
 - Влагозащищенная клавиатура FP-16.

- Потенциометры аналоговых каналов Ai0 и Ai1, R1 и R2 соответственно.
- Восемь двухпозиционных переключателей SA1...SA8, подключенных к каналам дискретного ввода Di0...Di15 соответственно.
- Восемь светодиодных индикаторов HL1...HL8, подключенных к каналам дискретного вывода Do0...Do8 соответственно.

На боковой панели стенда-тренажера размещены:

- Кнопка перезагрузки контроллера Reset.
- Выключатель питания.
- Разъем питания 220 В.

Использование программируемого контроллера CPC10701 предназначенного для использования в системах управления реального времени, позволяет составить сложную программу, реализующую управление различными объектами.

Аналоговое задание, с каналов «0» и «1», поступает на АЦП процессорного модуля, через согласующее устройство – ADAM-3014, представляющее собой модуль нормализации аналоговых сигналов с гальванической развязкой.

Информация о режимах работы – через плату дискретного/частотного ввода с гальванической изоляцией. В распоряжении пользователя имеются 16 дискретных каналов, выполненных на основе восьми 2-х позиционных переключателей.

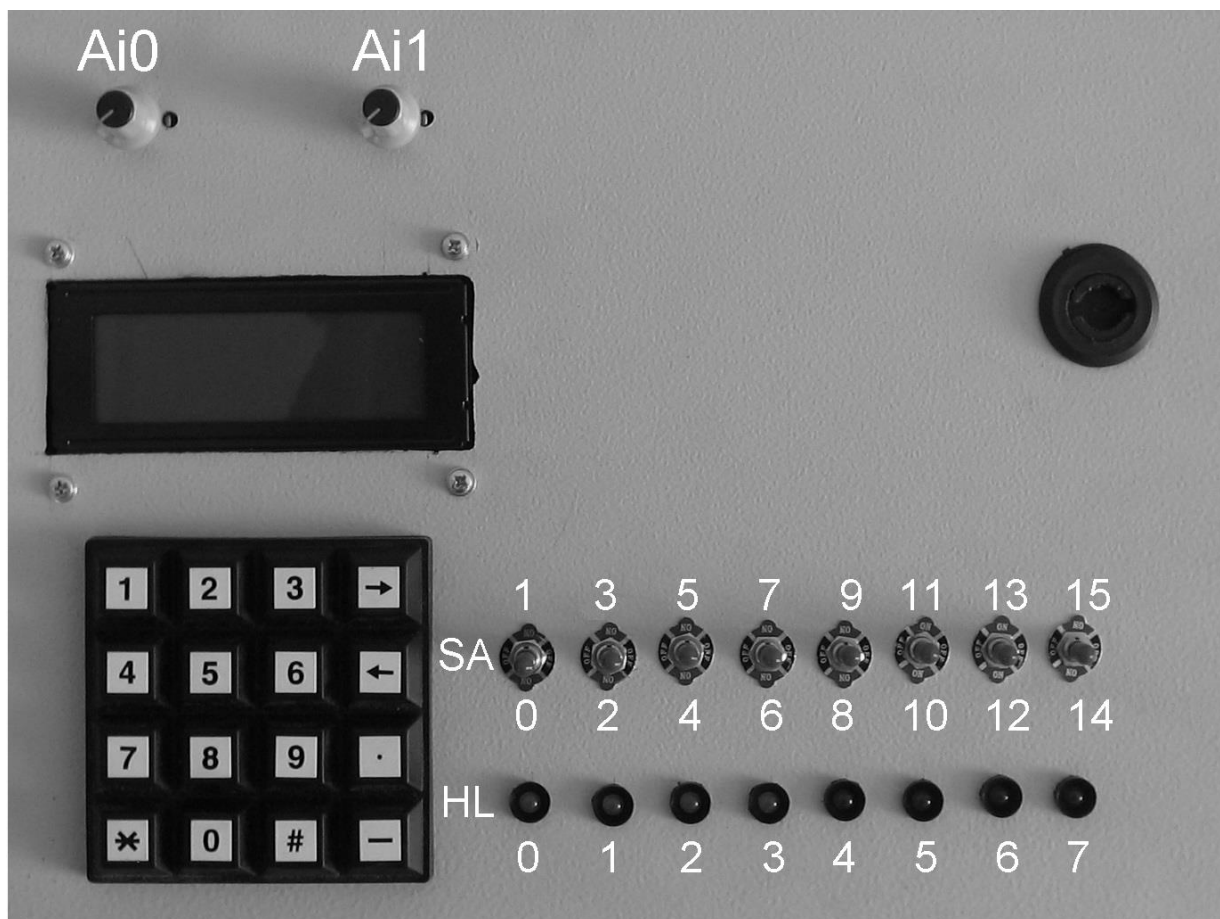


Рисунок 2 – Вид лицевой панели стенда-тренажера на базе ПК-совместимого контроллера Fastwel

На базе представленного стенда разработаны и проводятся лабораторные работы по следующим темам [3]:

- «Общие сведения о работе с контроллером, приёмы создания и отладки программного обеспечения» – изучение контроллера серии CPC10701. Ознакомление с поддержива-

емыми средствами индикации и ввода на базе ЖК-дисплея и матричной клавиатуры.

– «Изучение системы дискретного ввода-вывода» – изучение программно-аппаратной поддержки приема, обработки и выдачи дискретных сигналов при реализации систем управления.

– «Изучение системы аналогового ввода-вывода» – изучение программно-аппаратной поддержки приема, обработки и выдачи аналоговых сигналов при реализации систем управления.

– «Программирование последовательного порта» – изучение программно-аппаратной поддержки приема и передачи данных по каналам RS-232/RS-485.

– «Реализация функций отсчёта времени и подсчёта внешних событий» – изучение времязадающих функций ПЛК применительно к задачам управления техническими системами. Программирование встроенных таймеров, работа с прерываниями.

– «Программирование микропроцессорного задающего устройства (задатчика) интенсивности» – разработка программы для микропроцессорного задающего устройства (задатчика) интенсивности с заданной характеристикой выходного сигнала.

Кроме того, хотелось бы отметить, оборудование фирмы Fastwel применяется на многих предприятиях страны и заслужило достаточное количество положительных отзывов.

Библиографический список

1. Модуль процессора CPC 107. Руководство по эксплуатации. ООО «Фаствел», 2015. ФАПИ.421459.107.РЭ (версия 1.11) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <ftp://ftp.prosoft.ru/pub/Hardware/Fastwel/CPx/CPC107/Documentation/CPC107-UM.pdf> – Загл. с экрана (дата обращения 14.11.2015 г.)
2. Ермаков, И. А. Опыт применения алгоритмов взаимодействия при программировании систем технологической автоматизации / И. А. Ермаков // В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды пятой Всероссийской научно-практической конференции, 20–22 ноября 2012 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – С. 133-140
3. Ермаков, И. А. Использование стратегий при программировании систем технологической автоматизации / И. А. Ермаков // В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды четвертой Всероссийской научно-практической конференции, 12–15 октября 2010 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – с. 171-174
4. Программирование промышленного контроллера Fastwel: практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост. В. А. Кубарев. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015 г. – 58 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ КОМПЛЕКСАХ

Морозов П.А., Гулевич Т.М., Федотов А.А., Жернаков А.О., Одинокоев А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Внедрение автоматизированных обучающих систем (АОС) на базе современных информационных технологий (ИТ) обеспечивает: активную деятельность по освоению конкретных знаний, проверки ответов учащихся, возможность подсказки, привлекательность изучаемого материала и т.п. [1]. С позиций современной дидактики введение компьютерной среды внесло огромное количество новых возможностей во все компоненты процесса обучения. За счет своего быстродействия и больших резервов памяти они позволяют реализовывать различные варианты сред для программированного и проблемного обучения, строить различные варианты диалоговых режимов обучения, когда так или иначе ответ учаще-

гося реально влияет на ход дальнейшего обучения. В общем случае преподаватель получает доступ к компьютерным средствам, информационной среде и программным продуктам, предназначенным для реализации преподавательской деятельности. Все эти средства образуют автоматизированные обучающие комплексы и распределенные системы, для которых отношения местоположений элементов (или групп элементов) играют существенную роль с точки зрения функционирования системы, а, следовательно, и с точки зрения анализа и синтеза системы. Для распределённых систем характерно распределение функций, ресурсов между множеством элементов (узлов) и отсутствие единого управляющего центра, поэтому выход из строя одного из узлов не приводит к полной остановке всей системы [2]

На кафедре системы автоматизации СибГИУ разработан и поэтапно развивается учебно-исследовательский комплекс (УИК), функциональное строение которого может быть представлено следующими укрупненными блоками [3]:

- исследуемыми объектами модельного, натурно-модельного и натурального типов для многовариантного воспроизведения технологических, информационных и организационных процессов, подлежащих изучению, совершенствованию и управлению;
- нормативными моделями деятельности обучаемых (студента, производственника и т.п.) а также учителя при решении конкретных задач освоения и совершенствования воспроизводимых процессов и обеспечивающих систем;
- методическими, алгоритмическими, программными и техническими средствами для эффективного выполнения функций учебно-исследовательского характера, предписываемых нормативными моделями и формируемых самим обучаемым;
- организационным механизмом системы управления УИК, охватывающим планирование, контроль и регулирование учебно-исследовательской работы с участием опытных специалистов.

Функционирование автоматизированного комплекса осуществляется на базе локальной вычислительной сети с использованием протокола TCP/IP под управлением ОС FreeBSD (сервер), включающей IP-шлюз и файловый сервер, Internet-сервер, АРМ инженера-исследователя, программиста, преподавателя, АРМ программиста-консультанта, АРМы для пользователей. Кроме того, в УИК входят автоматизированные учебно-исследовательские и испытательные лабораторные установки (АЛУ): «Доза», «Расход», «Температура», «Одимима», «Коррекция», «Фильтрация», «АЦ-преобразование» и другие встроенные и подключаемые измерительные подсистемы, с соответствующими типовыми задачами промышленной метрологии.

В рамках УИК функционируют: пользовательский интерфейс; интерфейс администратора, включающий собственную систему управления содержанием (CMS); автоматизированные лабораторные установки (АЛУ), предусматривающие возможность дистанционного выполнения лабораторных работ; базы натуральных и модельных сигналов, базы данных программных и технических средств автоматизации, научно-методической литературы. Доступ к УИК возможен как из внутренней сети университета, так и из глобальной сети Интернет.

Развернут домен Active Directory, который позволяет проводить авторизацию пользователей входящих в домен с компьютеров кафедры и университета, предоставлять им разделяемые ресурсы сервера в соответствии с их уровнем доступа. Каждому пользователю на сервере выделяется дисковое пространство под хранение личных документов и файлов.

Установлен сервер терминалов на базе Windows Server 2012 Standart позволяющий работать с программами комплекса, а также упростить административные процедуры, связанные с установкой программ на клиентских компьютерах. Кроме того, сервер терминалов возможно использовать для удаленного выполнения некоторых учебно-практических работ, поддерживаемых Delphi, Visual Basic программами, не имеющими встроенных функций дистанционной работы. Установлен и настроен сервер на базе FreeBSD с функциями: веб-сервера с поддержкой Perl и PHP; сервера БД; Firewall; сервера IM; почтового сервера; FTP-сервера. Установлен и настроен сервис Instant Messaging (IM) Jabber – сервис обмена мгновенными сообщениями.

венными сообщениями распространяемый на правах Open Source, аналог ICQ, AIM и др., позволяющий пользователям обмениваться внутри сети сообщениями между собой, например, для консультаций в режиме Real-Time.

УИК «ЛОГОС» входит в состав распределенной автоматизированной лаборатории, построенной на базе интернет-технологий, также в нее входят автоматизированные лаборатории кафедры менеджмента качества, кафедры электротехники и энергооборудования. Организован доступ из компьютерных классов ВУЗа и домашних компьютеров. Общая структурная схема распределенного автоматизированного сетевого комплекса представлена на рисунке 1.

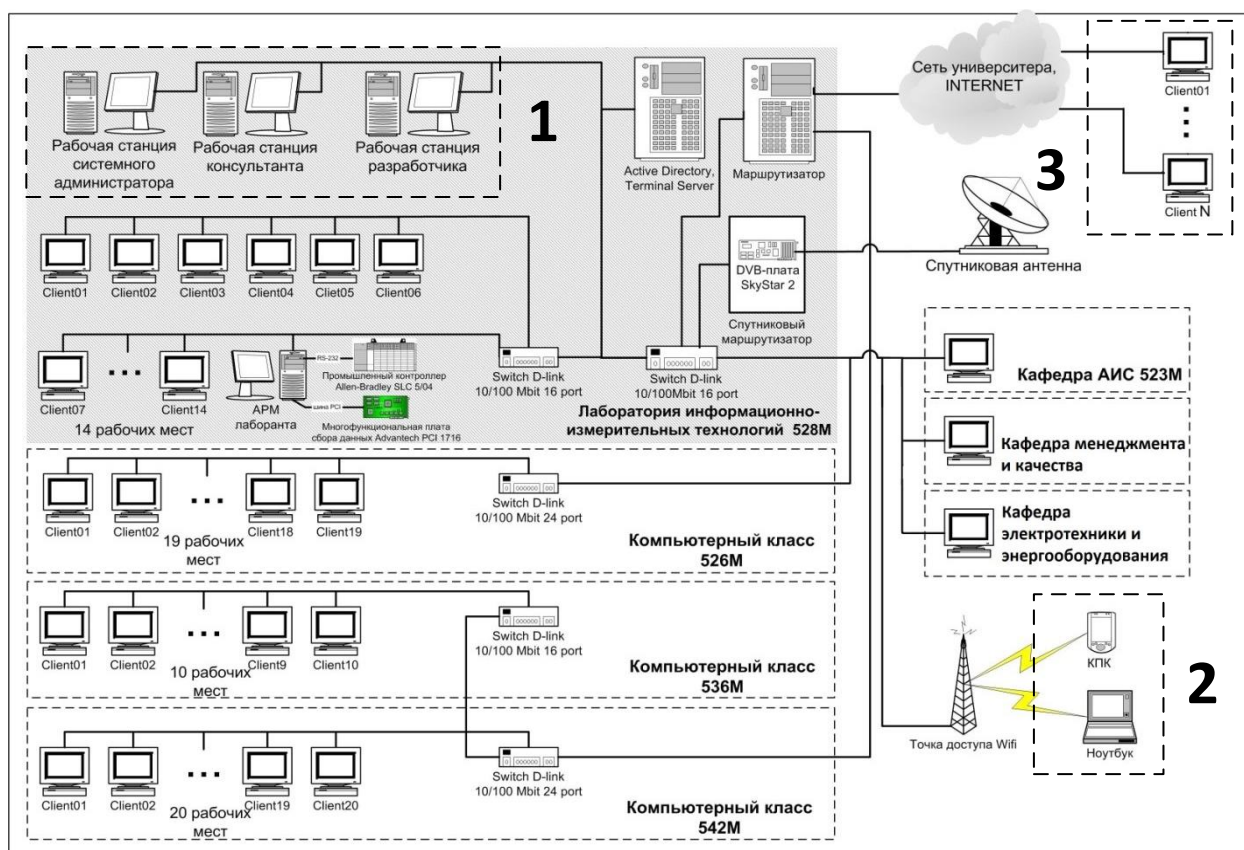


Рисунок 1 – Структурная схема обучающего распределенного сетевого комплекса

Надежность функционирования автоматизированных распределенных обучающих комплексов зависит от так называемых угроз, т.е. совокупности условий и факторов, создающих опасность нарушения информационной безопасности. В работе [4] представлена полная классификация угроз информационной безопасности, созданная специалистами Digital Security, целью которых было создание наиболее полной, детальной классификации, которая описывает все существующие угрозы информационной безопасности, которая, таким образом, наиболее применима для анализа рисков реальных информационных систем.

Классификация и анализ различных видов угроз и инцидентов позволил сформировать основные источники организации атак в автоматизированных обучающих распределенных сетевых комплексах. К ним относятся источники атак 1 (рисунок 1) с использованием клиента сети (АРМ администратора, АРМ студента, АРМ преподавателя, сервера и др.), осуществляемые при помощи вредоносного программного обеспечения (ПО), подмены операционной системы (ОС), использования виртуальной машины и др.

Атаки с использованием атакующей станции в сети 2 (компьютер, ноутбук, планшет, смартфон) санкционировано или не санкционировано подключенной к сети через сетевые розетки, беспроводные точки доступа, сетевые кабели и др.). Атаки с использованием ата-

кующей станции в сети или с использованием клиента вне сети (персональный компьютер администратора, студента, преподавателя, на котором находятся идентификаторы, позволяющие получить доступ к сети), осуществляются посредством: вредоносного ПО, захвата управления ПК, завладения ПК и др.

Атаки клиента вне сети с использованием атакующей станции вне сети (компьютер, ноутбук, планшет, смартфон) могут производиться и на внешние интерфейсы сети (порты, шлюзы, приложения, сервисы, службы и др.), посредством подключения к сетевой инфраструктуре клиентов, находящихся вне сети с целью перехвата конфиденциальных информационных потоков (сессий, паролей, идентификаторов и др.).

Количество атак, зарегистрированных в 2015 году за не полную неделю число событий (попыток входа пользователя на терминальный сервер обучающего комплекса) неверного ввода пары логин/пароль равно: 17.05.2015 года – 104552, 18.05.2015 года – 73360, 19.05.2015 года – 28982, 20.05.2015 года – 41434. Если предпринимаются попытки взломать пароль перебором, то число этих событий резко увеличивается.

Анализ существующей распределенной обучающей системы показал, что применяемые в данный момент средства безопасности не соответствуют требованиям к современным информационным системам.

На основе анализа сетевой инфраструктуры ОС Windows и сравнительного анализа технологий реализации средств защиты как на пользовательском и на уровне ядра, а также анализа сетевого трафика [4] сделан вывод о необходимости создания распределенной системы информационной безопасности на основе обнаружения атак – Intrusion Detection System (IDS) в виде экспертной системы обнаружения и защиты от различного вида атак.

Отличительной особенностью предлагаемой структуры системы является полный охват всех узлов распределенной обучающей системы с организацией единого центра сбора и обработки информации о событиях и нарушениях информационной безопасности и единой базы данных.

Взаимодействие всех разрабатываемых элементов системы обнаружения атак организовано на базе архитектуры «клиент-сервер». На рисунке 2 показана система взаимодействия между элементами системы, центром управления, агентом безопасности и хранилищем данных.

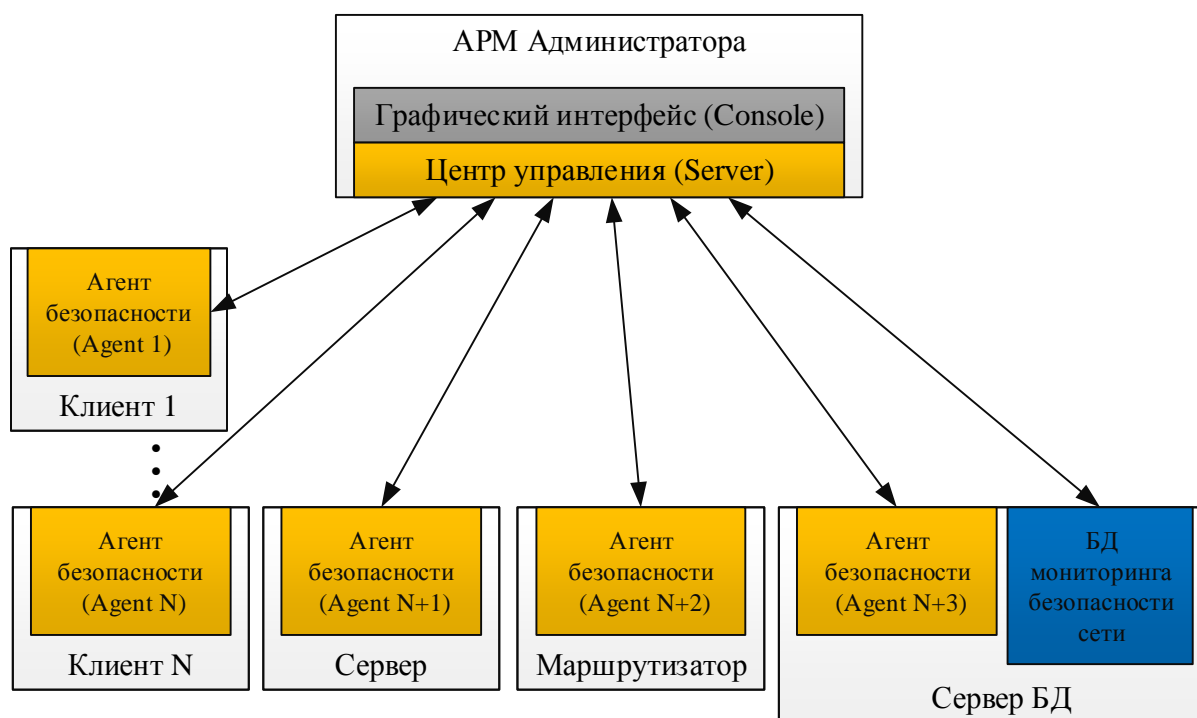


Рисунок 2 – Архитектура клиент-сервер системы обнаружения атак

Агент безопасности (Agent) – элемент системы обнаружения атак, устанавливаемый на следующие узлы сетевой инфраструктуры: клиентские компьютеры (осуществление защиты индивидуального пользователя); серверы приложений (обеспечение защиты серверных компонентов распределенных приложений); серверы баз данных (осуществление защиты и целостности БД); шлюзовые компьютеры (обеспечивают мониторинг сегментов сети).

Агент состоит из четырех модулей: драйвер-фильтр (DriverFilterIDS.sln); библиотека алгоритмов обнаружения атак (IntrusionDetection.DLL); программный модуль (AgentIDS.exe); журнал событий (DetectionAttack.log).

Драйвер-фильтр – это драйвер, интегрирующийся в подсистему NDIS, выполняющий функции: фильтрации сетевого трафика (функции Firewall'a), анализа сетевого трафика на предмет выявления несанкционированной деятельности (выявление атак, обнаружения троянских программ и т.д.), предотвращения сетевого взлома, шифрование трафика.

Библиотека алгоритмов обнаружения атак предназначена для хранения методов, алгоритмов и последовательностей, применяемых в процессах несанкционированной деятельности и настройки межсетевого экрана.

Программный модуль – это пользовательская программа, осуществляющая следующие функции: организация клиент-серверной архитектуры с центром управления; сбор данных полученных от драйвер-фильтра и передача их центру управления (Server); получение от центра управления обновлений алгоритмов обнаружения атак, запись их в библиотеку и сообщение драйвер-фильтру о необходимости обновления базы алгоритмов.

Алгоритм работы агента безопасности может быть представлен следующим образом. Драйвер-фильтр регистрируется в подсистеме NDIS, которая интегрирует его в свой стек (очередь) на пути следования трафика от сетевой карты до протоколов. Положение в очереди определяется назначением драйвера. Назначение драйвера (обычное назначение, т.е. для чего этот драйвер используется) устанавливается на этапе установки в его INF файле. В нашем случае устанавливается назначение «custom», предназначенное для организации функции фильтрации трафика. После регистрации драйвер-фильтр импортирует алгоритмы обнаружения атак из библиотеки IntrusionDetection.DLL, проверяет проходящий через него трафик данных, выявляя несанкционированную активность, в сети или направленную на узел. При выявлении несанкционированной активности, драйвер-фильтр блокирует пакеты, идущие от атакующего узла, и передает данные (метод атаки, данные атакующего узла и др.) о предотвращенной атаке программному модулю Agent. Программный модуль передает данные центру управления (Server) расположенному на компьютере администратора сети и записывает данные в журнал организованного в виде log-файла (DetectionAttack.log). После получения центром управления сообщение о несанкционированной активности, проявляемой каким-либо узлом, он передает данные об этом узле всем программным модулям, зарегистрировавшимся в данном центре управления. Вследствие чего атакующий узел вносится в базу блокировок и блокируется всей сетью до отмены блокировки администратором. При получении команды от центра управления об обновлении базы методов атак, программный модуль начинает процедуру скачивания обновлений и внесения их в библиотеку методов. Далее программный модуль передает сообщение драйвер-фильтру о необходимости импортирование новой базы методов.

На рисунке 3 представлена структурная схема сетевой архитектуры операционной системы Windows с интегрированными модулями агента безопасности, центра управления и показан принцип организации взаимодействия между ними.

Центр управления (Server) – элемент системы обнаружения атак, устанавливаемый на АРМ администратор. Центр управления состоит из пяти модулей: драйвер-фильтр (DriverFilterIDS.sln); библиотека алгоритмов обнаружения атак (IntrusionDetection.DLL); программный модуль (ServerIDS.exe); журнал (DetectionAttack.log); графический интерфейс (Console).

Программный модуль (Server) пользовательская программа, осуществляющая следующие функции: организация клиент-серверной архитектуры с клиентскими программ-

ными модулями; сбор данных, полученных от драйвер-фильтра и клиентских программных модулей и передача их в БД; формирование обновлений библиотеки методов атак и передача их клиентским программным модулям.

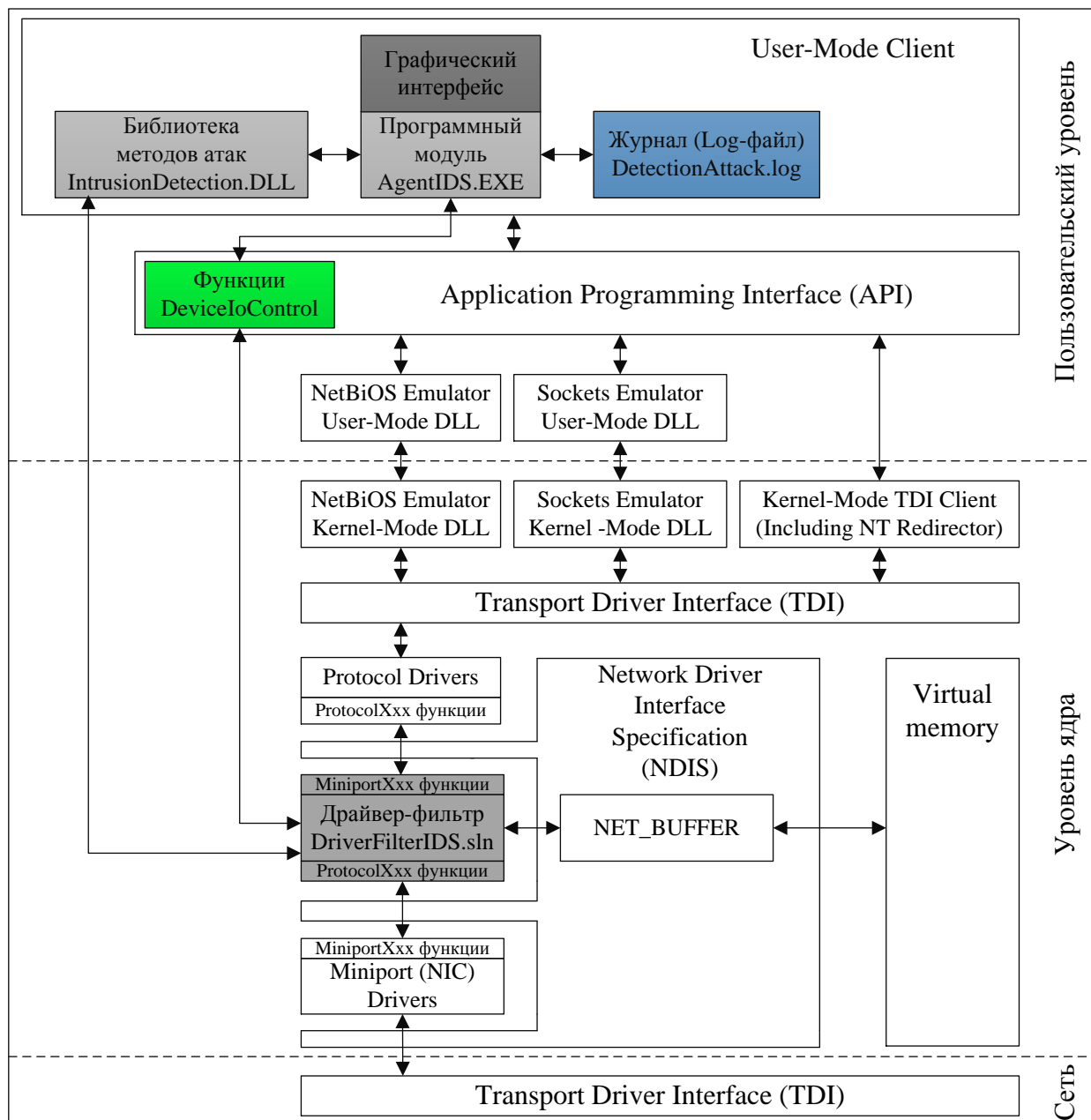


Рисунок 3 – Структурная схема сетевой архитектуры с интегрированным центром управления и агентом безопасности

Алгоритм работы центра управления, выявляет атаки на АРМ администратора и аналогичен алгоритму, описанному выше за исключение работы программного модуля.

Программный модуль (Server) организует связь со всеми агентами сети, регистрирует и заносит в базу клиентов. После обновления библиотеки методов атак формируются команды для клиентских модулей о необходимости произвести обновление.

Функции графического интерфейса заключаются в настройке политики безопасности для каждого узла сети, где установлен программный модуль Agent, просмотра журнала событий, анализа сетевого трафика, внесение новых алгоритмов обнаружения атак в библиотеку.

Таким образом применение методов создания современной экспертной системы обнаружения атак, позволяет системному администратору гибко и эффективно настраивать политику безопасности для каждого узла сетевой инфраструктуры распределенной обучающей системы, анализировать сетевое пространство на предмет незаконной деятельности и выявлять угрозы информационной безопасности и тем самым позволяет расширять функциональные возможности и повышает эффективность автоматизированных обучающих систем.

Библиографический список

1. Глоссарий.ру: словари по естественным наукам (<http://encycl.yandex.ru/>).
2. Архитектура компьютерных систем и сетей: Учеб. пособие / Т.П. Барановская, В.И. Лойко и др.; под ред. В.И. Лойко. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 256 с.: ил.
3. Гулевич Т.М., Бауэр И.К. Состав и реализация автоматизированного учебно-исследовательского комплекса по информационно-измерительным технологиям. – Информационные технологии моделирования и управления. – 2007. – № 2 (36). С. 165– 171.
4. Стандарты информационной безопасности: курс лекций: учебное пособие / Второе издание / Галатенко В.А. Под ред. Академика РАН В.Б. Бетелина / – М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-университет Информационных Технологий», 2006. – 264 с.
5. Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. А. Ю. Щеглов. – СПб.: Издательство «Наука и Техника», 2004. – 384 с.: ил.

УЧЕБНЫЙ СТЕНД С ТЕПЛОВЫМ ОБЪЕКТОМ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Бутузов Д.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск*

Несмотря на то что в настоящее время практически каждый может смоделировать реальный процесс, протекающий в какой-нибудь системе, учесть все его тонкости довольно сложно, и, в результате, методы, проверенные математическим моделированием в соответствующих программных пакетах, получают неприменимыми в реальных условиях [1].

Чтобы изучить эффекты, возникающие в этих условиях, и апробировать методы управления, была предложена идея создания стенда, имитирующего работу химического реактора [2]. Конструкция такой установки представлена на рисунке 1. Она состоит из химического реактора (1), помещённого в ёмкость (2), называемую водяной рубашкой, контроллера, исполнительных устройств: регулирующих клапанов подачи горячей (3) и холодной воды (4), а также сливного клапана (5), датчиков температуры, расположенных в химическом реакторе (6) и в водяной рубашке (7).

В реакторе на химическом производстве проходит химическая реакция с поглощением или с выделением тепла, поэтому основной задачей разрабатываемой системы является поддержание температуры в реакторе на заданном значении путём закачки в ёмкость горячей или холодной воды. Для имитации этой установки и разрабатывался данный стенд.

Из-за ряда причин в модели пришлось отказаться от регулирующих клапанов, подающих горячую и холодную воду в водяную рубашку, поэтому в качестве исполнительного устройства было принято использовать обогреватель, конструкция которого изложена ниже, а охлаждение реактора было реализовано посредством пассивной отдачи тепла в окружающую среду.

В качестве химического реактора в полунатурной модели используется стеклянная банка, наполненная водой. Она плотно закрыта крышкой, в которой проделано отверстие для датчика температуры, и помещена в пластиковый контейнер, также плотно закрытый

крышкой и играющий роль водяной рубашки. По периметру в зазор между банкой и контейнером уложен обогреватель, собранный из резисторов, а на поверхности закреплён датчик температуры.

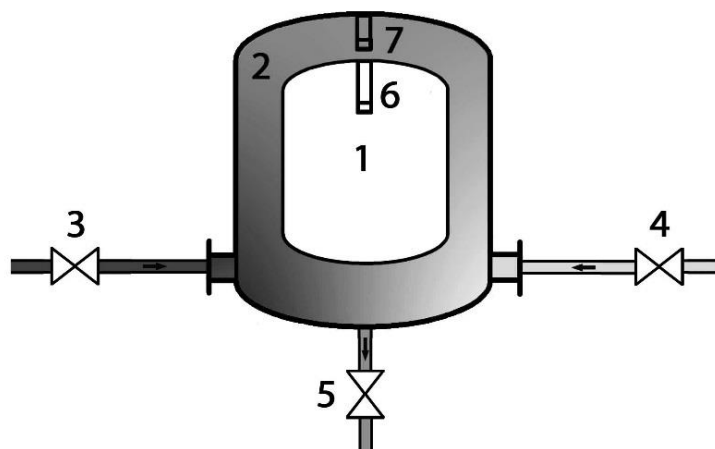


Рисунок 1 – Моделируемая система

Обогреватель представляет из себя 4 последовательных сборки из 6 соединенных параллельно резисторов номиналом 2 Вт 51 Ом. Питается обогреватель от сетевого напряжения 220 В. Рассеиваемая в среде мощность равна:

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{экв}}} = \frac{U^2}{R_6 \cdot 4} = \frac{U^2 \cdot 6}{R \cdot 4} = \frac{220^2 \cdot 6}{51 \cdot 4} = 1423,5 \text{ Вт,}$$

где R_6 – сопротивление одной сборки из 6 резисторов.

Из-за того что не было найдено способа изолировать обогреватель без нарушения заявленных выше характеристик, в качестве нагреваемой среды в контейнере было принято решение использовать дистиллированную воду, т.к. она не проводит электрический ток.

В ходе первичных испытаний обогревателя было установлено, что более тёплая вода подымается на поверхность, а холодная остаётся на дне, поэтому для равномерного нагрева всего объёма жидкости в контейнере было принято решение использовать насос. В качестве него подошёл омыватель стёкол на 12 В, перемешивающий нагреваемую жидкость.

В качестве средств измерения (СИ) температуры были использованы датчики температуры LM335Z в корпусе ТО-92 (рисунок 2, а) [3]. Датчики были откалиброваны по эталонному СИ, посажены в термоусадку (рисунок 2, б) и помещены в стеклянную банку, имитирующую химический реактор, и в контейнер с нагреваемой жидкостью, имитирующей водяную рубашку химического реактора.

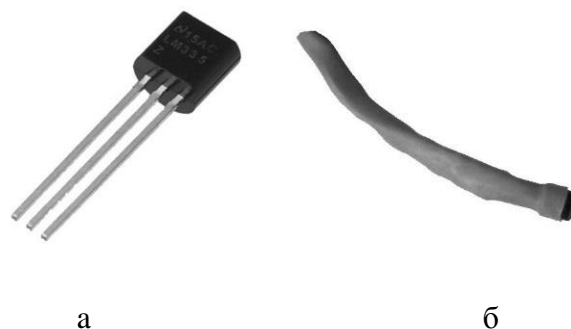


Рисунок 2 – Датчик LM335Z в корпусе ТО-92 (а) и в термоусадке (б)

В крышке контейнера также были сделаны отверстия под датчики температуры, провода обогревателя и насос. В итоге объект управления вместе с обогревателем, насосом и датчиками выглядит следующим образом (рисунок 3).



Рисунок 3 – Объект управления с исполнительными устройствами и датчиками

Для регистрации показаний с датчиков и формирования управляющего воздействия на электромагнитное реле, с подключённым к нему обогревателем, был выбран ПЛК ОВЕН-160М. Данный контроллер имеет аналоговые входы с разрешающей способностью 12 бит, что позволяет подключать к нему датчики и опрашивать их показания с большой точностью, несколько дискретных выходов, с помощью которых имеем возможность включать в работу обогреватель, а также интерфейсы USB и Ethernet по которым настраивается связь с ПК и средой программирования [4 – 6].

В результате объект обладает ярко выраженными инерционными свойствами, что позволяет проверять методы управления для различных объектов химической промышленности, нефтяной отрасли и даже объектов атомной энергетики.

В будущем стенд планируется использовать для настройки адаптивного регулятора на базе ПЛК ОВЕН 160М, регулирующего температуру в описанной системе.

Библиографический список

1. Тутов И.А. Некоторые причины редкого практического использования регуляторов с переменной структурой. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 112-114.
2. Соловьев П.А., Кочетыгов И.С, Тутов И.А. Разработка испытательного стенда нагревательной установки для отработки навыков синтеза и настройки цифровых регуляторов. // Научн.-практ.конф. «Молодёжь и современные информационные технологии» (13-16 ноября 2013г, г. Томск). – Томск, 2013. – С.288-290.
3. LM335Z Datasheet. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000459.pdf> (Дата обращения 23.09.2015 г.)
4. Руководство по эксплуатации ПЛК160. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.owen.ru/uploads/re_plc160_1642.pdf (Дата обращения 25.09.2015 г.)
5. ПЛК160 + Ethernet. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.owen.ru/forum/showthread.php?t=14927> (Дата обращения 11.10.2015 г.)
6. Видео ПЛК Овен подключение по Ethernet к ПК Windows 7. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.youtube.com/watch?v=MUL-УМ-xr8o> (Дата обращения 11.10.2015 г.)

УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ НА БАЗЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ВЕБ-САЙТОВ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ И ОБУЧАЮЩИХСЯ

Калиногорский Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В настоящее время при организации электронного обучения используют различные корпоративные программные продукты: авторские программные продукты (Authoring Packages), системы управления контентом (Content Management Systems – CMS), системы управления обучением (Learning Management Systems – LMS), системы управления учебным контентом (Learning Content Management Systems – LCMS) [1]. Использование для организации учебного процесса корпоративных систем электронного обучения имеет по отношению к преподавателю следующие недостатки, связанные с отсутствием у него прав суперадминистратора сайта:

– Отсутствует возможность гибкого изменения программного обеспечения сайта, например, программного обеспечения для тестирования обучающихся.

– Отсутствует возможность гибкого предоставлению прав доступа к собственным учебным и научным ресурсам, например, для обучающихся другого образовательного учреждения, при проведении лекций по повышению квалификации, выступлении на конференциях, семинарах и т.д.

– Не создаются условия для профессионального роста преподавателя как суперадминистратора собственного сайта, который является наилучшей площадкой для организации информационного обмена.

По нашему мнению необходимым дополнением к корпоративным средствам электронного обучения является предоставление каждому преподавателю и обучающемуся персонального сайта с правами суперадминистратора сайта. Такая возможность появилась в связи с созданием простых в использовании систем управления веб-содержимым и может быть реализована на базе веб-узла образовательного учреждения или организаций, предоставляющих услуги хостинга. В сети Интернет предоставляются широкие возможности по публикации сайтов, в том числе на бесплатной основе: www.hostinger.ru, www.hut.ru, hostland.su, ru1.su, hqhost.org и т.д.

В работе персональный сайт преподавателя на базе корпоративного веб-узла университета представлен по адресу: <http://www.sibsiu.ru/kna> (рисунок 1).



Рисунок 1– Фрагмент домашней страницы персонального сайта преподавателя

Функциональные возможности сайта преподавателя позволяют решать весь комплекс задач организации учебного процесса и аналогичны функциональным возможностям сайтов обучающихся.

Вопросы создания персональных сайтов обучающихся рассматриваются на примере услуг хостинга, предоставляемых по адресу: <http://www.hostinger.ru>. На этом сайте предоставляется комплекс услуг по бесплатной публикации сайтов на серверах, подключенных к сети Интернет (хостингах), и расположенных в Европе (Великобритания) и Северной Америке.

Создание персональных сайтов обучающимися осуществляется на основе соответствующего учебного пособия в несколько этапов:

- Постановка задачи разработки сайта.
- Оформление заказа на создание сайта в системе, предоставляющей услуги хостинга.
- Установка системы управления веб-содержимым.
- Организация содержательного наполнения сайта и доступа к его ресурсам с помощью панели управления сайта.

Рассмотрим последовательно этапы решения этой задачи.

Постановка задачи разработки сайта ориентирована на широкий круг задач в предметной сфере обучающегося, связанных с обменом информацией между руководством и сотрудниками предприятия, а также заказчиками и поставщиками товаров и услуг (таблица 1).

Таблица 1 – Требования к функциональным возможностям сайта

| Описание и наименование информационного элемента | Требования |
|---|---|
| Главное меню: <i>Главное меню</i> | Доступность меню при любом переходе по гиперссылкам сайта. |
| Пункт главного меню <i>Главная</i> | Организовать переход на домашнюю страницу сайта, содержащую статью с примером регистрации пользователей на сайте. |
| Пункт главного меню: <i>Наименование дисциплины</i> | Организовать переход по внутренним ссылкам для просмотра и сохранения рекламных и учебно-методических материалов, а также выполнения тестов. |
| Пункт главного меню: <i>Консультации</i> | Организовать переход на форму для обратной связи с суперадминистратором сайта по электронной почте. |
| Модуль «Кто на сайте» | Организовать демонстрацию на домашней странице сайта зарегистрированных пользователей сайта, которые осуществили вход на сайт. Это необходимо, например, для синхронизации времени начала тестирования пользователей. |
| Форма входа на сайт: <i>Форма входа</i> | Форма для входа на сайт должна обеспечивать ввод логина и пароля пользователя, регистрацию пользователя и восстановление логина и пароля пользователя. |
| Дополнительные требования | При регистрации пользователя в составе группы пользователей необходимо обеспечить возможность автоматического получения им необходимых прав доступа к ресурсам сайта. Обеспечить возможность массовой рассылки с сайта электронных сообщений пользователям, входящим в группы пользователей. |

Оформление заказа на создание сайта в системе, предоставляющей услуги хостинга включает несколько укрупнённых операций:

- Вход на домашнюю страницу сайта www.hostinger.ru.
- Создание аккаунта с помощью учётной записи в социальных сетях или путём заполнения формы регистрации.
- Выбор бесплатного тарифного плана.
- Выбор домена или субдомена (домен третьего уровня, например, Ivanov1952), пароля и места размещения сервера, например, Великобритания.

После подтверждения заказа появится список сайтов (хостинг-аккаунтов) пользователя (рисунок 2).

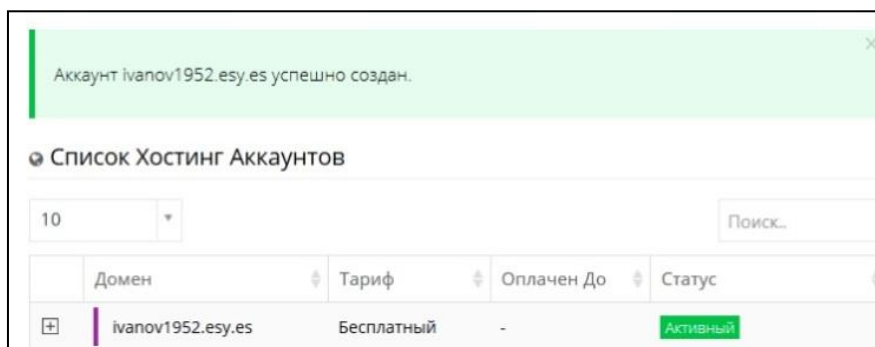


Рисунок 2 – Фрагмент окна со списком хостинг-аккаунтов пользователя

Установка системы управления веб-содержимым осуществляется с помощью услуги автоустановки приложений на хостинге.

Для установки системы управления веб-содержимым с помощью услуги автоустановки приложений на хостинге необходимо выполнить следующие операции:

1) Щёлкнуть по названию хостинг-аккаунта ivanov1952.esy.es в списке хостинг-аккаунтов (рисунок 2). Появятся кнопки для управления сайтом: **Управление, Конструктор сайтов, Авто-Установщик, Почтовые аккаунты.**

2) Щёлкнуть по кнопке **Авто-Установщик.** Появятся кнопки для установки приложений, распределённые по следующим разделам: **Разные, Создание Сообществ, Электронная Коммерция И Бизнес, Управление Контентом, Обзоры И Статистика, Фотографии И Файлы.**

3) Щёлкнуть по кнопке **Joomla 3.3.6** в разделе **Управление контентом** для установки соответствующей системы управления веб-содержимым.

4) Ввести в соответствующую форму следующие реквизиты: имя администратора, пароль администратора, E-mail администратора, название сайта.

После выполнения указанных операций персональный сайт студента можно посмотреть по адресу: <http://ivanov1952.esy.es> (рисунок 3).



Рисунок 3 – Фрагмент домашней страницы сайта по адресу <http://ivanov1952.esy.es>

Домашняя страница создаваемого сайта содержит базовые информационные элементы, предлагаемые разработчиками системы управления веб-содержимым. Состав и содержание этих элементов могут быть изменены разработчиком сайта с помощью панели управления сайта.

Доступ к панели управления сайта осуществляется через форму входа по адресу: <http://ivanov1952.esy.es/administrator>.

Организация содержательного наполнения сайта и доступа к его ресурсам с помощью панели управления сайта. В соответствии с постановкой задачи по созданию сайта обучающиеся реализуют на сайте следующие алгоритмы обработки информации:

- Формирование групп, уровней доступа пользователей к ресурсам сайта и автоматизация регистрации пользователей на сайте в заданных группах.
- Организация массовых рассылок сообщений пользователям сайта.
- Организация доступа к правилам регистрации пользователей на сайте через домашнюю страницу сайта.
- Организация доступа к рекламным и учебно-методическим материалам в предметной области обучающегося.
- Организация тестирования на сайте.
- Организация консультаций.
- Учёт зарегистрированных пользователей сайта, которые осуществили вход на сайт.
- Переименование модулей и удаление лишних модулей, не предусмотренных постановкой задачи по созданию сайта.

На рисунке 4 показана домашняя страница персонального сайта обучающегося после выполнения всех указанных выше операций.

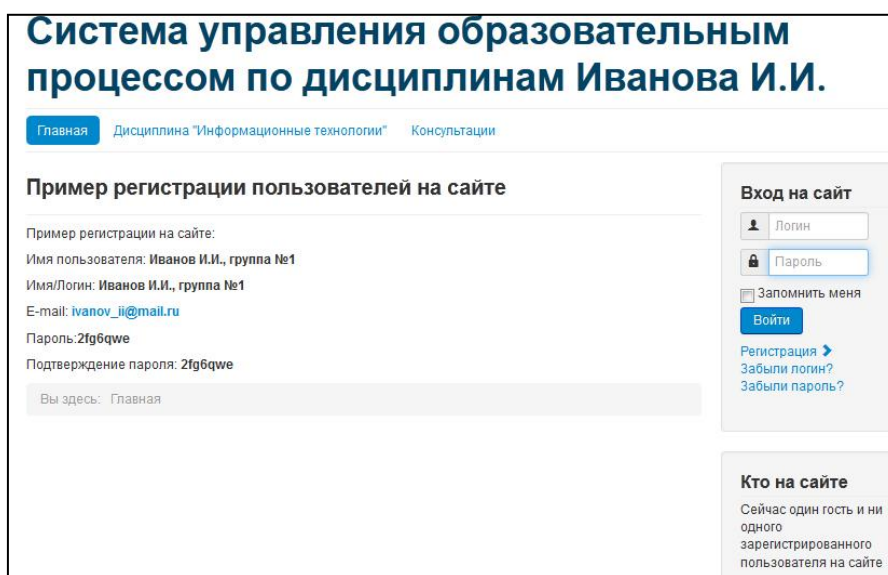


Рисунок 4 – Фрагмент домашней страницы персонального сайта обучающегося

Обучающиеся получают в своё распоряжение персональный сайт с правами суперадминистратора и имеют, в частности, возможность размещать на этом сайте отчёты о проделанной работе, сведения о которых передаются преподавателю путём указания соответствующего адреса в сети Интернет.

Библиографический список

1. Готская И.Б., Жучков В.М. Кораблев А.В. Аналитическая записка «Выбор системы дистанционного обучения». URL: <http://ra-kurs.spb.ru/2/0/2/1/?id=13> (Дата обращения 15.11.2015 г.).

МЕХАНИЗМ КОМПЛЕКСНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ УЧРЕЖДЕНИЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Миронова Е.В., Миронова К.А.

*Прокопьевский электромашиностроительный техникум,
г. Прокопьевск,
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В условиях глобального экономического кризиса и постоянного реформирования образования наблюдается устойчивое снижение интереса молодых людей к овладению новыми знаниями. Среди причин малого интереса к обучению молодые люди выделяют отсутствие рабочих мест по выбранной специальности, широкие возможности для несамостоятельного выполнения типовых учебных работ, а также распространенность электронных источников информации, которые, по мнению студентов, делают посещение учебных занятий вовсе не обязательным. По мнению многих обучающихся в учреждениях СПО процесс обучения в конечном итоге сводится к получению документа об образовании, который далеко не всегда подтвержден реальными знаниями и умениями. Однако работодатели с целью обеспечения конкурентоспособности предприятия в условиях рыночной экономики заинтересованы в приеме на работу квалифицированных специалистов, обладающих необходимыми знаниями и владеющих набором базовых умений, необходимых для осуществления трудовой деятельности. Для того чтобы учесть интересы работодателей, необходим комплексный механизм стимулирования студентов к обучению и формированию необходимых профессиональных навыков.

Применительно к типовому образовательному учреждению СПО (техникуму, колледжу) на базе теории управления организационными системами [1] авторами разработан рейтинговый механизм стимулирования деятельности студентов, отличительными особенностями которого являются: формирование критериев эффективности работы студентов, исходя из действующих образовательных стандартов и требований работодателей, единая методика учета выполненных работ, оценка конкретных показателей деятельности за календарный период (месяц, квартал, год), прозрачность системы, распределение стипендиального фонда в зависимости от реальных достижений студента.

Функциональная схема механизма стимулирования, разработанная на основе [2] показана на рисунке 1, где приняты следующие обозначения: $Y_{вх}(t)$ – входной поток обучаемых, соответствующий моменту времени t (абитуриенты); $Y_{вых}(t)$ – выходной поток обучаемых (дипломированные специалисты); $W(t)$ – внешние воздействия, например, ситуация на рынке труда, изменения в законодательстве, социально-политические процессы в обществе, внедрение новых информационных технологий и т.д.; $X(t)$ – характеристики деятельности и состояния обучаемых; $Z(t)$ – характеристики деятельности и состояния преподавателей; U_1, U_2, U_3 – управляющие воздействия преподавателей и подсистемы планирования; S_t – стимулирующие воздействия.

Объектом управления для преподавателей являются студенческие группы. При этом сами преподаватели, являются агентами, которые подчиняются управляющему центру (администрации образовательного учреждения) [3].

Рассмотрим функции основных подсистем и модулей комплексного механизма стимулирования деятельности студентов.

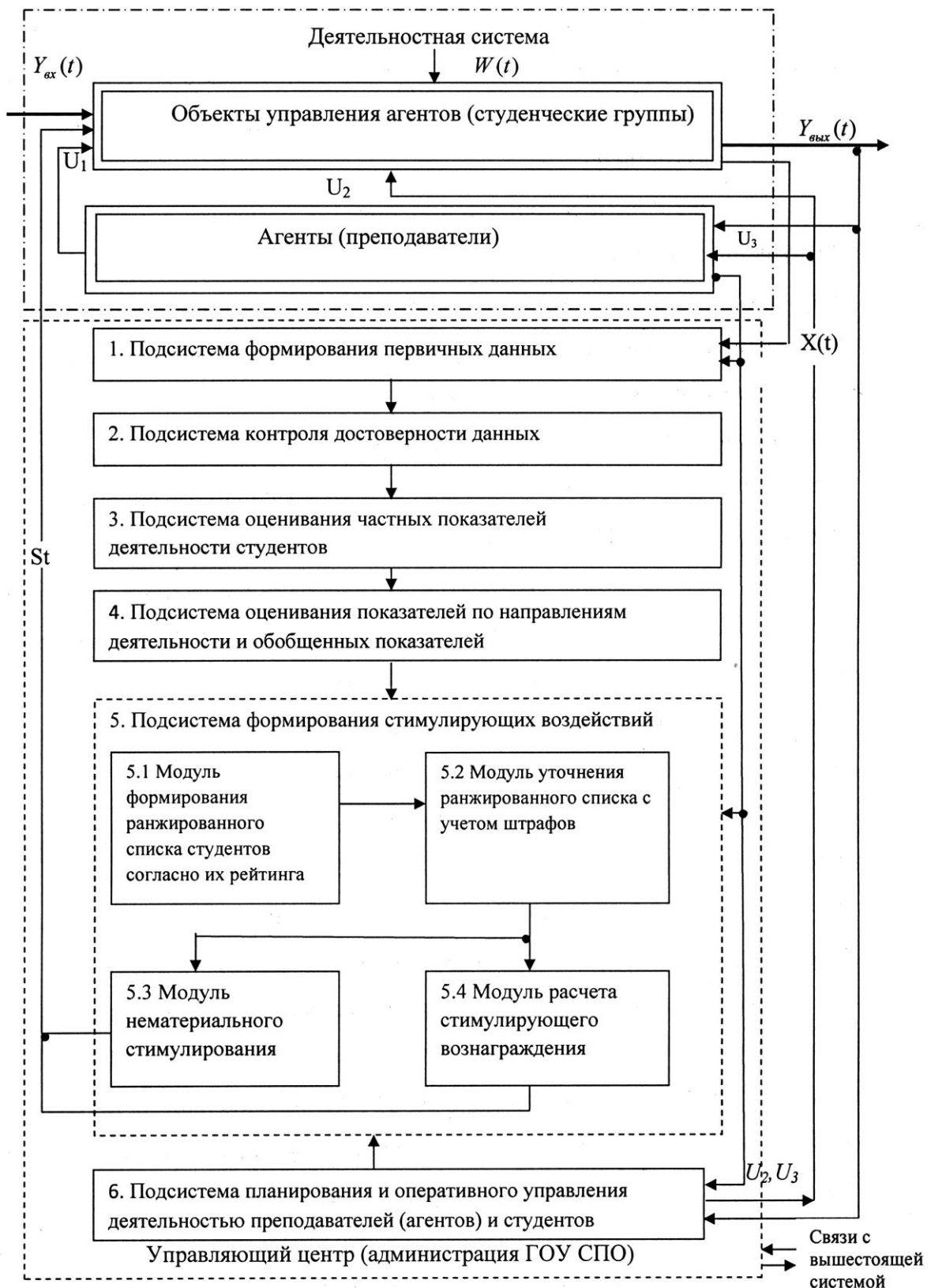


Рисунок 1 – Механизм стимулирования деятельности студентов СПО

Подсистема 1 формирования первичных данных осуществляет измерение и расчет значений первичных показателей работы студентов. При этом учитываются следующие виды деятельности студентов:

– учебная деятельность, включающая посещение учебных занятий, выполнение плановых учебных заданий во время занятий, выполнение домашних заданий обычной сложности, выполнение лабораторных, практических, расчетно-графических и курсовых работ, конспектирование первоисточников, подготовка к промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине или профессиональному модулю;

– научно-исследовательская работа, включающая участие в проведении исследований различных направлений, подготовку публикаций по тематике проводимых исследований, участие в конференциях, семинарах, симпозиумах различного уровня, подготовка к участию в предметных олимпиадах и конкурсах профессионального мастерства, выполнение нестандартных заданий повышенного уровня сложности, требующих самостоятельного освоения учебного материала;

– внеаудиторная самостоятельная работа, охватывающая разработку тестов, кроссвордов, презентаций по заданной тематике, создание видеороликов по профилю специальности, выполнение реальных курсовых и дипломных проектов, участие в создании электронных учебных пособий, конспектов лекций, рабочих тетрадей, практикумов по дисциплине или профессиональному модулю.

– общественно-полезная работа предполагает: участие в работе кружков и секций различной направленности, посещение экскурсий и выставок, выполнение общественно-полезных поручений (волонтерство, благотворительность, и т.д.), выполнение работ по совершенствованию и обновлению учебной базы, участие в творческих и прочих мероприятиях, формирующих положительный имидж учебного заведения.

Подсистема 2 контроля достоверности данных осуществляет сравнение отчетных сведений, получаемых от студентов, и от других источников (например, от методической службы, заместителя директора по воспитательной работе, преподавателей физкультуры и т.д.). В процедуре участвуют студенты, агенты (преподаватели) и эксперты, назначенные руководящим центром. При этом выявляются и устраняются ошибки или искажения данных.

Подсистема 3 оценивания частных показателей начисляет каждому студенту определенное количество баллов за фактически проделанную работу с учетом основных определяющих факторов: *сложности, значимости для достижения целей учреждения, трудоемкости*. Следует учитывать, что названные определяющие факторы не всегда могут быть оценены количественно. В этом случае допустимо использовать экспертное ранжирование [3] работ, выполняемых студентами, с применением закона рангового распределения. Расчет баллов за конкретную работу осуществляется тем субъектом деятельности, который предлагает ее выполнить студенту. В случае, если студент проявляет инициативу и самостоятельно выполняет какую-либо работу (например реальный курсовой или дипломный проект, научное исследование и т.д.), количество рейтинг-баллов за нее рассчитывается совместно студентом и руководителем после представления окончательного результата.

В подсистеме 4 оценивания показателей оценивается сумма баллов, набранных отдельным студентом по каждому виду деятельности k согласно соотношению:

$$B_{rk} = \sum_{l=1}^{L_r} \bar{b}(r, k)_l, \quad (1)$$

где B_{rk} – количество баллов, набранных студентом r по виду деятельности k в соответствии с индивидуальным планом;

l – порядковый номер работы, выполненной студентом;

L_r – множество всех работ студента.

Расчет общего количества рейтинг-баллов, набранных студентом r по всем видам деятельности осуществляется по формуле:

$$B_r = \sum_{k=1}^K B_{rk}. \quad (2)$$

Подсистема 5 формирования стимулирующих воздействий включает 4 модуля: модуль 5.1 формирования ранжированного списка студентов с учетом их рейтинга; модуль 5.2 уточнения ранжированного списка студентов с учетом штрафов; модуль 5.3 нематериального стимулирования; модуль 5.4 расчета стимулирующего вознаграждения.

В модуле 5.1 формируется ранжированный список студентов конкретной группы, причем на первое место ставится студент, имеющий самый высокий рейтинг, а замыкает список студент с самым низким рейтингом. Студенты, имеющие одинаковый рейтинг, занимают в списке одну позицию.

В модуле 5.2 проводится корректировка списка студентов с учетом штрафных баллов. Штрафные баллы могут быть начислены за пропуски занятий без уважительной причины, систематические нарушения дисциплины, опоздания на занятия, нарушения устава учебного заведения, приводящие к сбоям в учебном процессе, ненормативную лексику. За несвоевременно выполненную работу баллы за важность не начисляются.

Модуль 5.3 позволяет сформировать нематериальные стимулирующие воздействия, которые включают размещение на доске почета учебного заведения студентов из каждой группы, имеющих самый высокий рейтинг за отчетный период, вручение благодарственных писем студентам, занявшим в списке со 2 по 5 место, устная благодарность студентам, повысившим свой рейтинг по сравнению с предыдущим отчетным периодом, порицание студентам, у которых произошло снижение рейтинга, выговор студентам, имеющим отрицательный рейтинг.

Модуль 5.4 позволяет оценить размер индивидуального денежного вознаграждения CB_r , с учетом набранных баллов и размера распределяемого стипендиального фонда согласно соотношения:

$$CB_r = \begin{cases} \frac{B_r \Phi}{B_{\text{общ}}}, & \text{если } B_r > 0 \\ 0, & \text{если } B_r \leq 0 \end{cases} \quad B_{\text{общ}} = \sum_{r \in R} B_r \quad (3)$$

где Φ – размер распределяемого стипендиального фонда;

$B_{\text{общ}}$ – количество баллов, набранное всеми студентами;

R – множество студентов в конкретной группе.

Окончательное решение принимается с учетом мнения куратора студенческой группы.

Подсистема 6 планирования и оперативного управления деятельностью преподавателей осуществляет формирование планов по всем направлениям деятельности учебного заведения.

Планирование включает четыре этапа. На первом составляются индивидуальные планы работы преподавателей, которые предусматривают мероприятия, направленные на повышение рейтинга студента на втором – планы деятельности цикловых методических комиссий (ЦМК) с учетом индивидуальных планов преподавателей, на третьем – планы деятельности структурных подразделений, на четвертом – план деятельности учебного заведения, куда включаются мероприятия, запланированные на уровне города и области.

Предложенный механизм отличается гибкостью и прозрачностью и позволяет поощрить студента за любые достижения, начиная от самых незначительных, и заканчивая выдающимися. Недостатком механизма являются дополнительные трудозатраты, направленные на его реализацию.

Библиографический список

1. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами [Текст] /Д.А. Новиков.– М: издательство Московского психолого-социального института, 2005.– 583 с.: ил
2. Бондарь, Н.Ф. О механизме управления деятельностью преподавательского состава ГОУ СПО [Текст]: сборник трудов VII Всероссийской научно – практической конференции

- «Системы автоматизации в образовании, науке, производстве» /Н.Ф.Бондарь, Е.В.Миронова – Новокузнецк: издательство СибГИУ, 2009. – с. 292-296.
3. Бурков, В.Н. Как управлять организациями [Текст] / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков.– М.: Синтег, 2004.- 400 с.: ил.

АССИМЕТРИЧНЫЙ ПРОТОКОЛ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ПОДСИСТЕМ КОРПОРАТИВНЫХ WEB-ПОРТАЛОВ

Добрынин А.С., Койнов Р.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Аннотация: Использование корпоративных информационных систем в промышленности, бизнесе актуально для повышения эффективности деятельности предприятия. Практическое внедрение крупных современных ERP-пакетов [1], таких как SAP /R3 [2], Microsoft Dynamics [2], 1С-предприятие [1], помимо значительных финансовых вложений, также требует анализа и пересмотра бизнес-процессов. В условиях жесткой оптимизации затрат, не все организации и компании могут позволить себе революционный путь развития, связанный с закупкой промышленных MES [1, 3], ERP-пакетов, внесения изменений в собственную инфраструктуру и бизнес процессы. Такие изменения, в конечном итоге оказываются очень дорогостоящими, сложными, особенно для крупных корпораций, выполняются зачастую с превышением бюджета и сроков проекта. Статья описывает эволюционный подход, который предполагает использование накопленного опыта и постепенное наращивание функционала, при построении корпоративных систем. Рассматривается проблематика интеграции отдельных локальных АРМ-ов, в общую корпоративную систему, на базе WEB-технологий с использованием асимметричного протокола обмена данными.

Идея интеграции локальных АРМ

Современный подход, принятый в бизнесе, заключается в использовании интегрированных пакетов, для повышения эффективности бизнес процессов. Преимущества очевидны, интегрированные системы позволяют повысить управляемость процессов и обеспечить прозрачность потоков данных за счет:

- использования единого интерфейса доступа к корпоративным данным и элементам бизнес логики;
- формализованного и четкого представления всех бизнес процессов в единой архитектуре;
- получения сводной информации для формирования управленческих решений.

Внедрение крупных ERP-пакетов, безусловно приводит к росту эффективности, однако, на начальном этапе проекта, требует больших финансовых затрат, связанных с покупкой пакета, изменением бизнес-процессов, заменой инфраструктуры, привлечением сторонних специалистов и т.д. На практике, многие организации уже имеют свои, созданные ранее, ИТ-системы и не всегда могут позволить себе роскошь отказа от старых традиций и замены всей инфраструктуры. В таком случае, остается возможность для дальнейшего совершенствования путем объединения отдельных локальных подсистем в более крупные, с возможностью интеграции функций корпоративного уровня, без необходимости замены всей или определенной части инфраструктуры и снижению затрат.

Идея интеграции отдельных локальных АРМ в общую интегрированную систему основывается на применении широко распространенных технологий распределенных вычислений, к которым относятся Web-технологии и Web-сервисы. Таким образом, вместо закупки дорогих и сложных в эксплуатации систем, многие организации могут доработать локальные рабочие места, путем организации защищенных каналов передачи данных между локальными АРМ.

Подход, рассмотренный в данной статье, был реализован в системе оценки эффективности деятельности профессорско-преподавательского состава ФБГОУ ВПО СибГИУ (свидетельство о регистрации программного продукта № 2014662362) [4]. Центральная подсистема (головной университетский сайт), реализованная на базе 1С «Битрикс», взаимодействует описанным в статье образом с подсистемой оценки эффективности, написанной на ASP.NET. Подсистемами web-портала используются различные технологии, базы данных (MySQL, MS SQL Server) и языки программирования (php, C#) без необходимости более тесной интеграции. Для реализации механизмов авторизации были использованы элементы Membership API в технологии ASP.NET. Территориально распределенная корпоративная система, может состоять из нескольких локальных АРМ, каждый из которых решает определенное подмножество частных бизнес. Требуется интегрировать все АРМы в единую корпоративную систему с возможностью централизованного доступа к Web-порталу и общей системой авторизации пользователей [1] (рисунок 1).

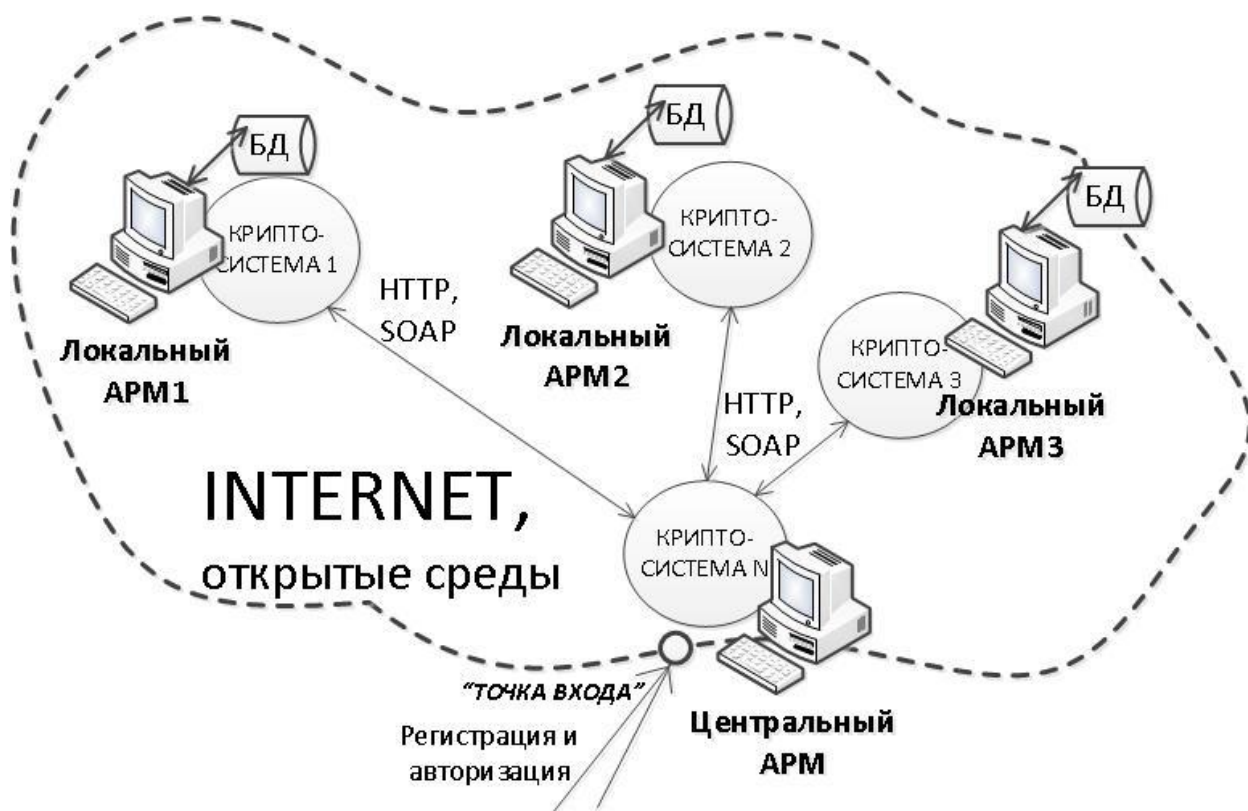


Рисунок 1 – Концептуальная схема интеграции АРМ

Предлагаемый авторами подход к решению задачи, базируется на простой и эффективной идее передачи зашифрованных данных (включая авторизационные данные), непосредственно в http или soap запросах между центральным и локальными АРМ. Криптосистемы используются для предотвращения перехвата трафика в открытых средах, таких как Internet.

Ассиметричный протокол

Рассмотрим ассиметричный протокол обмена данными, в рамках распределенной корпоративной системы, пригодный для практических случаев. Работа протокола базируется на распространенном алгоритме RSA [5], в основе которого лежит трудность разложения больших чисел на простые множители. Основные этапы обмена данными включают в себя:

1) Формирование вектора кортежей открытых ключей для каждой, участвующей в обмене данными криптосистемы $RSP_j[id, pub_k]$, $1 \leq j \leq N$, где id-уникальный идентификатор криптосистемы, pub_k – открытый ключ криптосистемы.

2) Генерация асимметричной пары, включая закрытый и открытый ключи обмена данными pub_k, pr_k . Открытый ключ pub_k формируется как произведение двух простых чисел $N1, N2$ большой размерности (тип данных long) и неотрицательный нечетный показатель степени e ; $pub_k = N1 * N2 | e$. Закрытый ключ вычисляется в соответствии с выражением (1).

$$pr_k = (2 \cdot \Phi[N] + 1) / e, \quad (1)$$

где $\Phi[N] = (N1 - 1) * (N2 - 1)$, e – неотрицательный показатель степени.

3) Обмен открытыми ключами pub_k между всеми участниками взаимодействия и запись их в вектор кортежей открытых ключей.

4) Формирование информационных блоков m_i на основании исходного сообщения MSG и их сопоставление с эквивалентным числовым значением таблицы символов UTF-8 или UTF-16.

5) Асимметричное шифрование информационных блоков, с использованием преобразований на стороне отправителя $m^e \bmod N$ и на стороне приемника $m^{ed} \bmod N$.

6) Объединение отдельных информационных блоков m_i в исходное сообщение MSG .

Реализация

Представленный в статье асимметричный протокол обмена данными используется в системе мониторинга эффективности деятельности [4] в качестве подсистемы, альтернативной симметричному протоколу. Симметричный протокол формирует ключи шифрования как функцию от времени, при этом предполагается, что время в локальных системах строго синхронизировано. Асимметричный протокол с одной стороны обеспечивает высокую криптостойкость, с другой стороны, пригоден для интеграции территориально распределенных комплексов и подсистем.

Библиографический список

1. Пургина М. В. К вопросу интеграции корпоративных web-порталов / М. В. Пургина, А. С. Добрынин, Р. С. Койнов // Научное обозрение. – 2015. – № 12. – С. 201-204. – Библиогр.: с. 203 (2 назв.).
2. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. /С. В. Питеркин, Н. А. Оладов, Д. В. Исаев. Альпина Паблишер; 2010; 368с.
3. Bell, Steve. ERP, CRM, PLM working together // Lean Enterprise Systems. – N. Y.: McGraw-Hill, 2006. – P. 242-296. – 436 p. — ISBN 978-0-471-67784-0.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662362 Российская Федерация. Система мониторинга эффективности деятельности университета / Ляховец М.В., Койнов Р.С., Милованов М.М., Добрынин А.С.; правообладатель Сиб. гос. индустр. ун-т. - № 2014660244; заявл. 09.10.14; зарегистр. 27.11.14. - 1С.
5. Rivest R. L., Shamir A., Adleman L. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems // Communications of the ACM. – New York, NY, USA: ACM, 1978. – Vol. 21, no. 2, Feb. 1978. – P. 120 – 126. – ISSN 0001-0782. – DOI:10.1.1.40.5588.

**СЕКЦИЯ 4.
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ КЛАССА ВИНЕРА

Коплярова Н.В., Медведев А.В.

Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия

Современная теория автоматического управления в основном относится к разряду параметрических, то есть вид уравнения, описывающего объект (процесс) задан с точностью, описываемой до вектора параметров. Но зачастую априорной информации недостаточно, чтобы определить структуру исследуемого процесса, что делает актуальным разработку методов идентификации и управления в условиях неполной информации.

Рассматривается задача идентификации и управления динамических систем класса Винера в условиях частичной параметризации. Пусть исследуемый объект может быть описан как последовательное сочетание нелинейных статических и линейных динамических блоков (модель Винера). Сложность в исследовании таких объектов заключается в том, что значения промежуточных сигналов (значения выхода блока, находящегося первым в последовательности) недоступны для измерения. Кроме того, порядок и параметры уравнения, описывающего линейный динамический блок системы, неизвестны.

Постановка задачи идентификации. В общем виде задача идентификации систем класса Винера может быть описана схемой, представленной на рисунке 1 [1]:

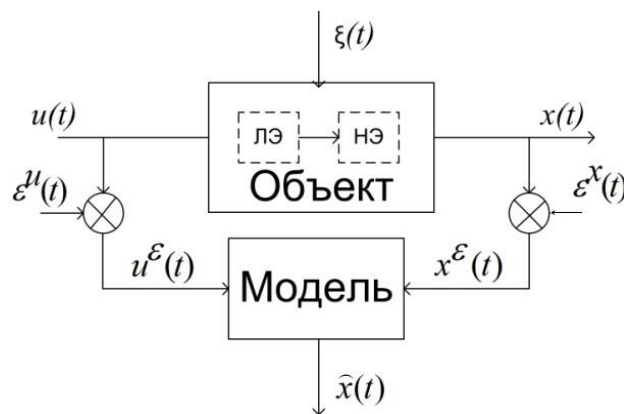


Рисунок 1 – Общая схема задачи идентификации

где Объект состоит из ЛЭ – линейной динамической и НЭ – нелинейной статической частей, $u(t)$ – входная переменная объекта, $x(t)$ – выходная переменная, u_i^ξ, x_i^ξ – наблюдения переменных процесса в дискретный момент времени, $\xi(t)$ – ненаблюдаемое случайное воздействие, $\varepsilon^u(t), \varepsilon^x(t)$ – случайные факторы (помехи) в каналах измерения переменных, $\hat{x}(t)$ – выход модели объекта, $w(t)$ – выходная переменная линейного элемента системы (не измеряемая). Имеется выборка измерений реакции объекта на тестовое входное воздействие $u(t)$: $\{u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$. Структура и параметры линейной динамической части системы неизвестны. Вид нелинейного блока известен с точностью до набора параметров. Требуется на основании наблюдений «входа-выхода» построить модель системы, адекватно описывающую ее поведение в различных условиях.

Непараметрическая модель системы класса Винера. Пусть исследуемая система может быть представлена в виде модели Винера, общий вид которой показан на рисунке 2.

Во многих случаях параметризовать линейный элемент (ЛЭ) не представляется возможным из-за недостатка априорной информации, при этом структура НЭ может быть из-

вестна с точностью до параметров. То есть задача идентификации формулируется в условиях как параметрической, так и непараметрической неопределенности [2, 4]. Основная идея алгоритма, предлагаемого для построения моделей систем класса Винера, заключается в использовании непараметрических оценок для описания связей системы, информация о которых по каким-то причинам неизвестна (в данном случае – значения выхода ЛЭ системы), а также параметрическом оценивании функции нелинейного блока.

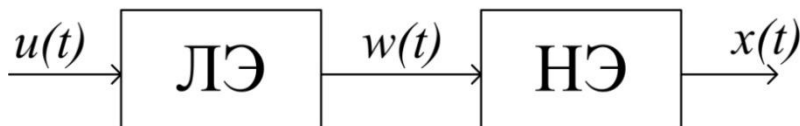


Рисунок 2 – Система класса Винера

Поскольку линейный динамический объект может быть описан интегралом свертки, то значение выхода ЛЭ системы:

$$w(t) = \int_0^t h'(t-\tau)u(\tau)d\tau, \quad (1)$$

где $h(t-\tau)$ – переходная функция линейной части системы. Если структура нелинейного элемента $f\{w(t), \bar{a}\}$ задана с точностью до параметров a , модель объекта примет вид [6]:

$$\hat{x}(t) = \hat{f}\left(\int_0^t h'(t-\tau)u(\tau)d\tau, \hat{a}\right). \quad (2)$$

В модели (2) неизвестными остаются значение переходной функции $\hat{h}(t)$ и параметров a функции $f(w(t), a)$, вместо которых предлагается использовать их оценки. Предлагается при тех же условиях эксперимента (значениях входного воздействия, шага дискретизации и величины помехи), в которых были получены измерения «входных-выходных» величин $\{u_i, x_i\}, i = \overline{1, s}$, сформировать выборку $\{u_i, w_i\}, i = \overline{1, s}$. Значения \hat{w}_i могут быть вычислены по результатам дополнительных экспериментов с системой.

Если подать на вход объекта воздействие $u(t)=1(t)$, возможно измерить только выход (обозначенный $x^1(t)$), $x^1(t)=f(h(t), a)$. Если выражение $f(w(t), a)$ может быть разрешено относительно $w(t)$, тогда значения переходной функции ЛЭ системы могут быть оценены:

$$h_i = w_i^1 = \hat{f}^{-1}(x_i^1, \bar{a}), \quad (3)$$

Весовая характеристика ЛЭ системы может быть оценена с применением непараметрической статистики:

$$\hat{k}(t) = \hat{h}'(t) = \frac{1}{sc_s} \cdot \sum_{i=1}^s h_i H'\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right), \quad (4)$$

где $H(\bullet)$ – колокообразная функция;

c_s – параметр размытости.

Непараметрическая модель системы класса Винера примет вид [1]:

$$\hat{x}(t) = \hat{f}\left(\frac{1}{sc_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta\tau} \hat{h}_i H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{c_s}\right) u(\tau_j) \Delta\tau, \hat{a}\right), \quad (5)$$

где $\hat{f}(w(t), \bar{a})$ – оценка нелинейной функции.

Идентификация нелинейной системы с квадратом. Пусть нелинейная часть системы класса Винера представляет собой квадрат: $f(p) = ap^2$, $a - \text{const}$. При входном воздействии $u(t) = 1$ выход системы равен $x^1(t) = ah(t)^2$. То есть переходную характеристику линейного элемента $h(t)$ можно оценить в виде:

$$h(t) = \sqrt{x^1(t)/a}. \quad (6)$$

С учетом оценки (6) модель нелинейного динамического объекта (5) примет вид:

$$\hat{x}(t) = \left[\frac{1}{sc_s} \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta t} \sqrt{x_i^1} \cdot H' \left(\frac{t - \tau_j - t_i}{c_s} \right) u(\tau_j) \Delta \tau \right]^2, \quad (7)$$

где x_i^1 – реакция нелинейной системы на единичное входное воздействие.

Пример. На рисунке 3 показан результат моделирования системы класса Винера с квадратом, поведение линейного блока которой имитируется численным аналогом дифференциального уравнения $x_i = 2 \cdot x_{i-1} - 0.97 \cdot x_{i-2} + 0.005u(t_i)$.

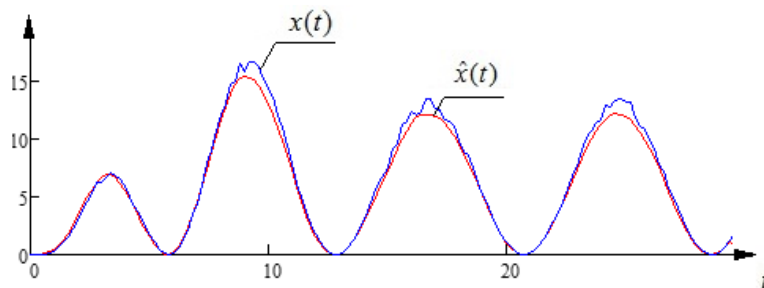


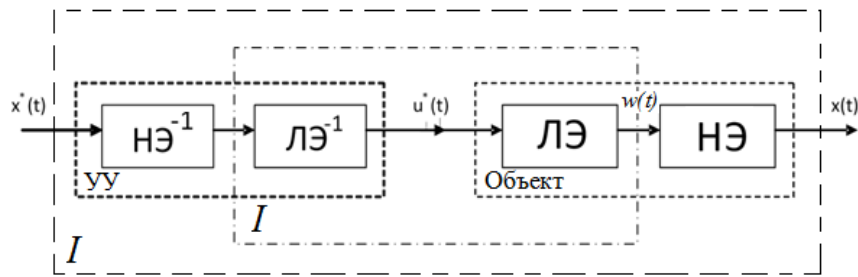
Рисунок 3 – Результат моделирования системы класса Винера, объем выборки $s=150$, шаг дискретизации $\Delta t = 0,2$, помеха 5 %, $u(t) = 2\cos(0.4t)$, относительная средняя ошибка моделирования 2,5 %, $x(t)$ – выход объекта, $\hat{x}(t)$ – выход модели

Как видно из рисунка 3, предлагаемые алгоритмы позволяют достаточно точно оценивать значения выхода нелинейной системы класса Винера с квадратом.

Постановка задачи управления. Задача управления состоит в том, чтобы посредством выбора входного воздействия обеспечить желаемое поведение системы. При управлении процессами на промышленных предприятиях в основном применяют законы регулирования, основанные на принципе обратной связи (П, ПИ, ПИД регуляторы). Качество управления зависит от настроек параметров регуляторов, и может оказаться недостаточно эффективными (при наличии помех в каналах измерения, или если задающее воздействие представляет собой сложную функцию). Кроме того, данный вид регуляторов не является обучающимся (адаптивным) и при переходе из одного состояния в другое, регулятор не накапливает информацию о предыдущих состояниях объекта. Рассматриваются подходы к управлению, основанные на принципе адаптации. Постановка задачи при этом предполагает наличие модели объекта и цели управления [5].

Непараметрический алгоритм управления системой класса Винера. Рассматривается задача управления нелинейными системами класса Винера. Предлагается непараметрический подход к синтезу регулятора. В данном случае схема управления (рисунок 5):

Имеются наблюдения «входных-выходных» переменных процесса $\{x_i, u_i\}_{i=1, \overline{s}}$. Требуется построить регулятор, который будет формировать управляющее воздействие, переводящее систему из начального состояния в желаемое.



ЛЭ⁻¹ – оператор, обратный к ЛЭ системы; НЭ⁻¹ – оператор, обратный к НЭ
 Рисунок 5 – Схема функционирования непараметрического регулятора для системы класса Винера

Преобразование входных сигналов ЛЭ объекта $u(t)$ в выходные $\omega(t)$ можно рассматривать как некоторый линейный оператор A . НЭ системы может быть представлен оператором B , преобразующим множества выходных сигналов ЛЭ $\omega(t)$ в значения выхода объекта $x(t)$. Получим описание системы в виде операторов [3]:

$$\omega(t) = A\{u(t)\}, \quad (8)$$

$$x(t) = B\{\omega(t)\} = B\{A\{u(t)\}\}. \quad (9)$$

Пусть существуют обратные к A и B операторы, для которых: $AA^{-1} = I$, $BB^{-1} = I$, где I – единичный оператор. Тогда задавая траекторию $x^*(t)$, можно найти значение $u^*(t)$:

$$u^*(t) = A^{-1}\{B^{-1}\{x^*(t)\}\}. \quad (10)$$

Если найти операторы A^{-1} и B^{-1} для системы и «включить» на входе системы в обратном порядке, то выражение (10) может считаться регулятором для нелинейной системы класса Винера в условиях частичной неопределенности.

Описываемый метод предполагает выполнение двух этапов. Первый этап сводится к тому, что по измеренным реализациям управляющего входного и результирующего выходного процессов строится модель динамической системы. Следующий этап состоит в том, что модель объекта используется для получения переходных характеристик обратного оператора системы. Оценка обратного оператора позволяет синтезировать управляющее воздействие для желаемого выходного процесса.

Пусть система класса Винера описывается нелинейным дифференциальным уравнением неизвестного порядка. Оператор A^{-1} , обратный к A (описывающему линейную динамическую часть системы) может быть описан интегралом свертки:

$$u(t) = A^{-1}w(t) = \int_0^t v'(\tau) w(t - \tau) d\tau, \quad (11)$$

где $v(t)$ – переходная функция «обратного» процесса. Оператор B описывает функцию $f(w)$, причем пусть существует $B^{-1} = f^{-1}(x)$. Управляющее воздействие, соответствующее (10):

$$\begin{cases} u(t) = \int_0^t v'(t - \tau) w(\tau) d\tau \\ w(t) = f^{-1}(x^*(t)), \end{cases} \quad (12)$$

Оценки характеристик $f^{-1}(x)$ и $v(t)$ могут быть получены на модели объекта. Задача управления нелинейными динамическими системами сводится к нахождению обратных операторов к функциям, описывающим линейную и нелинейную части системы.

Когда порядок уравнения, описывающего линейный динамический блок, не определен, предлагается использовать непараметрические модели и алгоритмы управления [2].

Для них требуется «снятие» переходных характеристик, необходимых для построения непараметрических моделей динамических процессов. Ключевым звеном дальнейшего является «включение» на входе объекта непараметрического алгоритма управления, являющегося по существу «обратным» к непараметрической модели, являющейся достаточно точным описанием нелинейной системы. С математической точки зрения это соответствует постановке обратного оператора на входе объекта, который интерпретируется как оператор управляемого процесса [3]. В данном случае речь идет об аппроксимации обратного оператора на основании наблюдений «входа-выхода» объекта.

При построении модели системы в виде (4) получена оценка функции $f^{-1}(x)$. Обратной переходной функцией называется значение переменной $u(t)$, при котором выход ЛЭ $w(t)=1$, то есть необходимо решить уравнение [3]:

$$\hat{w}(t) = \frac{1}{s \cdot c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta t} \hat{h}_i \cdot H' \left(\frac{t - \tau_j - t_i}{c_s} \right) \cdot u(\tau_j) \Delta \tau = 1 \quad (13)$$

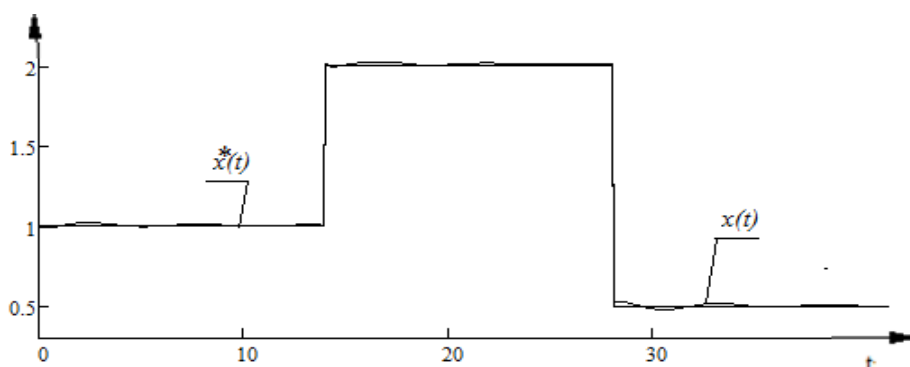
относительно $u(t)$. Здесь значения величин $h(t)$ и $w(t)$ – физически не измеряемые. Однако имеются их оценки в результате построения модели исследуемого объекта. Полученное значение $u(t)$ считается «обратной» переходной функцией и обозначается $u(t_i)=v(t)$:

$$\hat{v}(t) = \frac{1 - \frac{1}{sc_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t-1} \hat{h}_i \cdot H' \left(\frac{t_j - t_i}{c_s} \right) \cdot f(u(t_j)) \Delta t}{\frac{1}{sc_s} \cdot \sum_{i=1}^s \hat{h}_i \cdot H' \left(\frac{t - t_j - t_i}{c_s} \right) \cdot \Delta t}, \quad (14)$$

где $\hat{h}_i = f^{-1}(x_i^1)$ – оценка переходной характеристики ЛЭ системы, $x^1(x)$ – выход нелинейной системы при единичном входном воздействии. Управляющее воздействие находится в виде:

$$u^*(t) = \frac{1}{sc_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta \tau} \hat{v}_i \cdot H' \left(\frac{t - t_i - \tau_j}{c_{su}} \right) \cdot \hat{f}^{-1}(x^*(\tau_j)) \Delta \tau, \quad (15)$$

Пример. Рассмотрим нелинейную динамическую систему класса Винера. Задающее воздействие принято в виде ступенчатой функции. На рисунке 6 приведен результат управления с применением алгоритма (15).



$x(t)$ – выход управляемого объекта; $x^*(t)$ – желаемое значение выхода, помеха 5 %

Рисунок 6 – Процесс управления объектом

Рисунок 6 иллюстрирует достаточно хорошее качество управления динамическим объектом в условиях непараметрической неопределенности. В результате экспериментов подтверждена работоспособность алгоритма построения непараметрического регулятора.

Выводы. Рассмотрена задача управления нелинейными динамическими системами класса Винера. Исследуются системы, находящиеся в условиях частичной параметризации.

В данном случае структура линейного динамического блока неизвестна, а вид нелинейности предполагается известным с точностью до параметров. Постановка задачи рассматривается в адаптивном варианте, тогда для создания регулятора требуется наличие модели исследуемого объекта. Суть метода построения модели и регулятора тогда заключается в сочетании моделей линейного динамического и нелинейного статического процессов в общей модели системы.

Библиографический список

1. Коплярова Н.В., Сергеева Н.А. Непараметрические алгоритмы идентификации систем класса Винера и Гаммерштейна // Системы управления и информационные технологии, № 2.1 (52) 2013. С. 133–137.
2. Медведев А.В. Непараметрические алгоритмы идентификации нелинейных динамических систем. / сб. Стохастические системы управления. Изд-во: Наука. Новосибирск, 1979. – С. 15-22.
3. Медведев А.В. Основы теории адаптивных систем / А.В. Медведев // Издательство Сибирского государственного университета. – 2015. – 525 с.
4. Попков Ю.С., Идентификация и оптимизация нелинейных стохастических систем. – М.: Энергия, 1976, – 440 с.
5. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. Изд. «Наука», 1968. – 400 с.
6. Чайка С.Н. К идентификации динамических систем при частично параметризованной структуре модели / Динамика систем. Горький: Изд-во Горьковского гос. ун-та, 1989.

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Панферов В.И., Панферов С.В.

*Южно-Уральский государственный университет,
г. Челябинск, Россия*

Введение. Системы отопления зданий являются сложными техническими устройствами, включающими в реальных условиях, как правило, разнотипные отопительные приборы с различными сроками эксплуатации и, возможно, с неодинаковыми схемами подключения к подводным и обратным теплопроводам. При этом также следует иметь в виду, что структура и состав этих и так достаточно сложных систем довольно часто меняются, в частности, из-за пожеланий собственников квартир и по другим причинам. В связи с этим непосредственный анализ и отслеживание режимов работы таких систем является весьма трудной задачей. В некоторых случаях, например, при решении задачи синтеза управляющих алгоритмов удобно эту сложную систему представить эквивалентным отопительным прибором. В данной работе предложены и обоснованы несколько вариантов моделей (статических и динамических) эквивалентного отопительного прибора. Разработаны адаптивные и неадаптивные алгоритмы оценки теплотехнических характеристик прибора по экспериментальным данным. Приведены результаты апробации алгоритмов идентификации.

Варианты статической модели. Рассматриваются следующие варианты статической модели эквивалентного отопительного прибора (системы отопления) [1]:

$$W_{CO1} = (kF)_{CO}(t_{CO} - t_B) / [1 + (kF)_{CO} / (2cG_{CO})]; \quad (1)$$

$$W_{CO2} = cG_{CO}(t_{CO} - t_B) \{1 - \exp[-(kF)_{CO} / (cG_{CO})]\}, \quad (2)$$

где t_{CO} – температура воды на входе системы отопления;

t_B – температура внутреннего воздуха;

c – удельная теплоемкость теплоносителя;

G_{CO} – массовый расход воды через систему отопления;

k – коэффициент теплопередачи;

F – площадь поверхности теплообмена;

W_{COi} – мощность системы отопления (эквивалентного отопительного прибора) по i – тому варианту.

При этом заметим, что для оценки мощности системы отопления W_{CO} непосредственно необходимы не отдельные значения параметров k и F эквивалентного отопительного прибора, а их произведение $(kF)_{CO}$, поэтому в дальнейшем рассматривается только произведение этих параметров $(kF)_{CO}$.

В работе [2] показали, что отношение мощностей W_{CO2} / W_{CO1} является функцией безразмерного комплекса $(kF)_{CO} / (cG_{CO})$, т.е. $W_{CO2} / W_{CO1} = f((kF)_{CO} / (cG_{CO}))$ и конкретно представляется следующим уравнением:

$$W_{CO2} / W_{CO1} = \frac{1 + (kF)_{CO} / (2cG_{CO})}{(kF)_{CO} / (cG_{CO})} \{1 - \exp[-(kF)_{CO} / (cG_{CO})]\}. \quad (3)$$

В [2] также показано, что расчетное значение комплекса $\{(kF)_{CO} / (cG_{CO})\}^P = 0,3876$, для этого значения $W_{CO2} / W_{CO1} = 0,9895$, т.е. численные значения мощности системы отопления, определенные по формулам (1) и (2), отличаются не более, чем на 2 %. Оценили также отношение мощностей в наиболее вероятном диапазоне изменения безразмерного комплекса $[0,5\{(kF)_{CO} / (cG_{CO})\}^P; 1,5\{(kF)_{CO} / (cG_{CO})\}^P]$, здесь различие результатов вычислений по формулам (1) и (2) не превысило 3 %. Таким образом, в количественном отношении модели (1) и (2) практически равноценны, однако предпочтительнее использовать все-таки модель (1), как более простую по структуре.

Следует заметить, что коэффициент теплопередачи k как отдельного отопительного прибора, так и, очевидно, и всей системы отопления зависит от температурного напора, который для всей системы отопления, как известно, вычисляется следующим образом:

$\Delta t_{CO} = (\frac{t_{CO} + t_{OBR}}{2} - t_B)$, в этом случае модель системы отопления будет представляться следующим уравнением:

$$W_{CO} = (mF)_{CO} (\Delta t_{CO})^{n+1}. \quad (4)$$

Здесь m и n – некоторые коэффициенты, t_{iAB} – температура обратной воды, при этом следует иметь в виду, что модель (1) имеет и другую форму представления, а именно следующую:

$$W_{CO} = (kF)_{CO} (\frac{t_{CO} + t_{OBR}}{2} - t_B). \quad (5)$$

Поэтому будет выполняться следующее соотношение между параметрами модели:

$$(kF)_{CO} = (mF)_{CO} \times (\Delta t_{CO})^n. \quad (6)$$

В работе [3] предложены и апробированы алгоритмы идентификации параметров моделей (1) или, что то же самое (5), и (4) по экспериментальным данным. Показано, что пересчет найденных по экспериментальным данным параметров $(mF)_{CO}$ и Π модели (4) в параметр $(kF)_{CO}$ по формуле (6) дает практически те же значения, что и для случая, когда сам параметр $(kF)_{CO}$ модели (5) непосредственно оценивался по тем же экспериментальным данным. В связи с этим, можно заключить, что из трех вышеприведенных структур

статической модели отопительного прибора (системы отопления) следует отдавать предпочтение структуре (1) или, что то же самое (5), как наиболее простой. В количественном отношении все три структуры практически равноценны.

При этом не лишне заметить, что стремление некоторых авторов повысить точность расчетов за счет более глубокого учета механизма некоторых явлений часто оказывается малоэффективным, т.к. эта величина определяется в основном точностью исходных данных, которая, к сожалению, часто весьма низкая. Здесь уместно заметить, что, как это широко известно, весьма проблемным коэффициентом в теплотехнике является коэффициент теплоотдачи, трудности точного определения которого привели, в том числе, к идее построения так называемой новой теории теплопередачи, в которой этот коэффициент просто не используется [4]. В частности, из-за этого погрешность теплотехнических расчетов может достигать 30 и более процентов. Поэтому, на наш взгляд, разумно из всего набора вариантов модели выбирать самую простую по структуре, но достаточно апробированную практической модель.

Варианты динамической модели. Следуя [5 – 7], установили, что структура динамической модели будет иметь следующий вид:

$$\frac{C_{\text{ПП}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}} \frac{dt_{\text{T}}}{d\tau} + t_{\text{T}} = \frac{2cG_{\text{CO}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}} t_{\text{CO}} + \frac{(kF)_{\text{CO}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}} t_{\text{B}}, \quad (7)$$

где $C_{\text{ПП}} = c_{\text{PT}} V_{\text{ПП}} + c_{\text{M}} m_{\text{M}}$ – полная теплоемкость эквивалентного отопительного прибора (системы отопления) вместе с находящимся в нем теплоносителем;

ρ_{O} – плотность теплоносителя;

$V_{\text{Ю}}$ – объем теплоносителя в системе отопления;

c_{M} – удельная теплоемкость металла отопительного прибора;

m_{M} – масса отопительного прибора;

$t_{\text{T}} = (t_{\text{CO}} + t_{\text{OБР}}) / 2$ – средняя температура теплоносителя в системе отопления;

τ – время.

При построении математической модели теплового режима здания (ТРЗ) нужно, в первую очередь, знать, как изменяется не средняя температура теплоносителя в системе отопления, а ее тепловая мощность (тепловой поток, создаваемый системой отопления), поэтому интересна структура динамической математической модели именно по данной характеристике.

Учитывая, что температура теплоносителя может быть вычислена как

$$t_{\text{T}} = t_{\text{B}} + W_{\text{CO}} / (kF)_{\text{CO}} \quad (8)$$

и подставляя данное выражение в (7), после некоторых преобразований, получим, что

$$\frac{C_{\text{ПП}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}} \frac{dW_{\text{CO}}}{d\tau} + W_{\text{CO}} = \frac{2cG_{\text{CO}}(kF)_{\text{CO}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}} (t_{\text{CO}} - t_{\text{B}}) - \frac{C_{\text{ПП}} \cdot (kF)_{\text{CO}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}} \frac{dt_{\text{B}}}{d\tau}. \quad (9)$$

Введем следующие обозначения: $T = \frac{C_{\text{ПП}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}}$; $k_1 = \frac{2cG_{\text{CO}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}}$;

$k_2 = \frac{(kF)_{\text{CO}}}{2cG_{\text{CO}} + (kF)_{\text{CO}}}$; $T_{\text{B}} = \frac{C_{\text{ПП}}}{2c \cdot G_{\text{CO}}}$; $k_3 = k_1(kF)_{\text{CO}}$; $k_4 = 2cG_{\text{CO}}k_2$, тогда модели (7) и (9)

перепишутся следующим образом:

$$T \frac{dt_T}{dt} + t_T = k_1 t_{CO} + k_2 t_B; \quad (10)$$

$$T \frac{dW_{CO}}{dt} + W_{CO} = k_3 t_{CO} - k_4 (t_B + T_B \frac{dt_B}{dt}). \quad (11)$$

Если полагать, что расход теплоносителя это постоянная величина, т.е. что $G_{CO} = \text{const}$, то все коэффициенты в данном уравнении будут постоянными величинами и поэтому в изображениях Лапласа при нулевых начальных условиях уравнение (11) может быть записано так:

$$W_{CO}(p) = \frac{k_3}{(Tp+1)} t_{CO}(p) - \frac{k_4(T_B p + 1)}{(Tp+1)} t_B(p). \quad (12)$$

Здесь $W_{CO}(p)$, $t_{CO}(p)$ и $t_B(p)$ Лапласовы изображения величин $W_{CO}(\tau)$, $t_{CO}(\tau)$ и $t_B(\tau)$ соответственно, p – комплексная переменная.

Из уравнения (12) следует, что передаточная функция по каналу «температура теплоносителя на входе в отопительный прибор – тепловая мощность системы отопления» представляет собой инерционное звено 1-го порядка, а по каналу «температура внутреннего воздуха – тепловая мощность системы отопления» – инерционно-форсирующее звено с отрицательным коэффициентом передачи [8]. Алгоритмическая структурная схема отопительного прибора (системы отопления) и теплового режима здания (ТРЗ) для данного случая, когда расход теплоносителя считается постоянной величиной $G_{CO} = \text{const}$, представлена на рисунке 1.

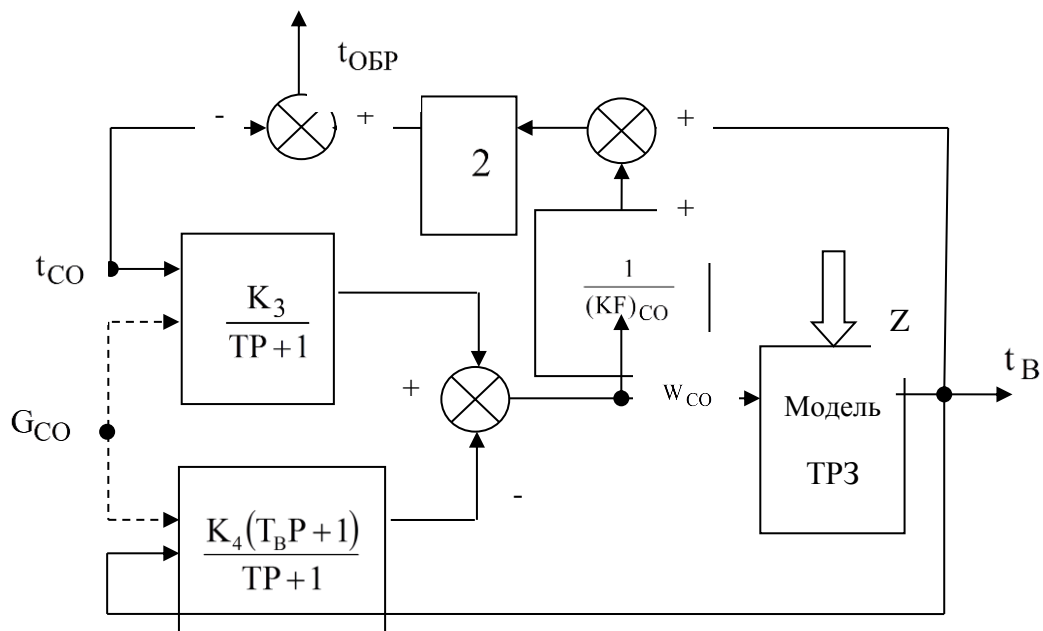


Рисунок 1 – Структурная схема

На рисунке 1 $Z(\tau)$ – вектор возмущающих воздействий ТРЗ, основным из которых является t_H – температура наружного воздуха, сплошными линиями обозначены сигнальные воздействия, а штриховыми – параметрические, т.е. воздействия, определяющие численные значения параметров (коэффициентов) модели.

Из рисунка 1 видно, что математическая модель системы отопления вместе с моде-

лю TRЗ составляют замкнутую систему уравнений, полностью описывающую поведение объекта управления, который в данном случае включает систему отопления и собственно TRЗ. Входными величинами для данного объекта являются температура теплоносителя на входе системы отопления $t_{CO}(\tau)$, расход теплоносителя через систему отопления $G_{CO}(\tau)$ и вектор возмущений TRЗ $Z(\tau)$. Выходные величины объекта – это мощность (тепловой поток) системы отопления (эквивалентного отопительного прибора) $W_{CO}(\tau)$, температура внутреннего воздуха $t_B(\tau)$ и температура обратной воды (на выходе системы отопления) $t_{OBR}(\tau)$.

Алгоритмы оценки параметров модели. Алгоритмы параметрической идентификации (как неадаптивные, так и адаптивные) вариантов статической модели детально изложены и апробированы в работе [3].

Задача параметрической идентификации динамической модели (10), в частности, формулировалась в следующем варианте:

$$I = \sum_{i=1}^n \left| t_T^{\exists}(\tau_i) - t_T(\tau_i) \right| \rightarrow \min_{T, k_1, k_2}, \quad (13)$$

где $t_T^{\exists}(\tau_i)$, $t_T(\tau_i)$ – соответственно экспериментальные и расчетные значения средней температуры отопительного прибора в моменты съема данных τ_i ;

n – количество экспериментальных точек (моментов съема данных).

Данная задача решалась методом покоординатного спуска со встроенным методом «золотого сечения». Установлено, что модель (10) количественно удовлетворительно настраивается на экспериментальные данные [7].

Заключение. В работе предложены и обоснованы несколько вариантов моделей (статических и динамических) системы отопления зданий. Разработаны адаптивные и неадаптивные алгоритмы параметрической идентификации моделей по экспериментальным данным. Результаты работы могут быть использованы при создании систем автоматического управления микроклиматом зданий.

Библиографический список

1. Денисенко, Ю.Н. Решение задачи структурной идентификации математической модели отопительной установки / Ю.Н. Денисенко, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2008. – Вып. 10. – № 26. – С. 4–9.
2. Панферов, В.И. К вопросу о выборе структуры математической модели отопительного прибора / В.И. Панферов, А.Е. Милов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Том 14. – № 2. – С. 52 – 54.
3. Панферов, С.В. Адаптивная идентификация параметров систем отопления зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Том 14. – № 2. – С. 33 – 37.
4. Адиутори, Е.Ф. Новые методы в теплопередаче / Е.Ф. Адиутори. – М.: Мир. 1977. – 230 с.
5. Сканави, А.Н. Переходные тепловые процессы в отопительных приборах / А.Н. Сканави, Л.М. Махов, В.Э. Сварич // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 4. – С. 86 – 88.
6. Об одном решении задачи построения динамической математической модели отопительных приборов и систем / В.И. Панферов, А.Н. Нагорная, Ю.В. Кунгурцева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – Вып. 15. – №38 (297). – С. 46–49.
7. Панферов, В.И. Динамическая модель отопительных приборов и систем. / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Том 15. – № 2. – С. 75 – 82.
8. Теория автоматического регулирования / Под ред. А.В. Нетушила. М.: Высш. школа, 1976. – 400 с.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Бельская Е.Н.¹, Михов Е.Д.², Тасейко О.В.¹

¹*Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева*

²*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

В докладе представлена модель оценки экологической ситуации в городе Красноярске, разработанная с использованием методов непараметрического моделирования. В качестве исходной информации использованы данные наблюдений на постах государственной сети мониторинга за 2004 год.

Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду требует использования разносторонней и детальной информации о её состоянии. Такая информация нужна для оценки качества атмосферного воздуха, прогноза его изменения, организации рациональной системы природопользования. Репрезентативность наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы в городе зависит от правильности расположения пунктов отбора проб на обследуемой территории.

Анализ описанных в литературе методов размещения пунктов наблюдения в системах контроля атмосферного воздуха позволяет сделать вывод, что, во-первых, во всех рассмотренных работах отсутствует единый подход, во-вторых, создание универсальной методики пространственного размещения станции является сложной задачей в силу характера расположения городов, своеобразия источников выбросов, особенностей застройки и т.д. Решение ее существенно зависит от функций, которые должна выполнять система мониторинга [1]. Программы наблюдений формируются по принципу выбора приоритетных (подлежащих первоочередному определению) загрязняющих веществ и интегральных (отражающих группу явлений, процессов, веществ) характеристик.

Малое число мест пробоотбора, вероятно, приведет к неточным оценкам уровней загрязнения. Увеличение числа пунктов наблюдения также не всегда приводит к статистически значимому улучшению оценки качества воздуха. Очевидно, что количество пунктов должно зависеть от местных особенностей, ожидаемых вариаций измеряемых концентраций, а также размера области, в которой проводится исследование.

Большинство методик носит скорее рекомендательный и описательный характер, чем аналитический, дает общие рекомендации при выборе пунктов наблюдения с учетом планировки и застройки районов города, местоположения источников загрязнения и рельефа местности, чтобы отбираемые пробы воздуха характеризовали не локальное, а общее загрязнение воздушного бассейна города. Некоторые методики используют статистический анализ результатов наблюдений, на основании которого определяются оптимальные расстояния между станциями, количество станций на единицу площади и т.д.

На сегодняшний день в Красноярске существует 8 стационарных пунктов мониторинга федеральной наблюдательной сети – два в Ленинском районе и по одному во всех остальных. Несмотря на то, что в последние годы стали появляться дополнительные посты наблюдения (теперь их уже 5) [2], места для их размещения выбирают в соответствии с теми же нормативными документами, что и для основной сети. Основные требования к размещению постов наблюдения разработаны в 60-х гг. прошлого века, и новых до сих пор не существует.

Сложный рельеф местности, а также число и размещение основных промышленных и транспортных источников, расстояние от них, метеорологические условия и т.д. могут существенным образом повлиять на распределение концентраций поллютантов в пределах рассматриваемой зоны и сделать его существенно неравномерным. Для решения этих задач проводят математическое моделирование распространения примесей в атмосферном возду-

хе, которое позволяет оценить степень загрязнения атмосферы в заданной точке местности, не проводя в ней натуральных измерений.

Моделирование требует комплексного учета многих факторов, таких как параметры источников выбросов и текущего метеорологического состояния атмосферы, условия рассеивания для данной местности, свойства моделируемых веществ и др. [3]. В последнее время нарастает тенденция использовать непараметрическое моделирование для решения подобного рода задач (нейросети, генетические алгоритмы). В статье представлена модель, построенная с использованием одного из непараметрических методов моделирования с использованием ядерных оценок.

Вследствие сложности структуры моделируемого процесса, были использованы непараметрические методы идентификации.

Непараметрическая идентификация, в общем виде, реализуется с использованием ядерных оценок [4].

$$x_{s+1} = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \prod_{j=1}^k \Phi \left(\frac{u_{j,s+1} - u_{ji}}{c_{j^x}} \right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi \left(\frac{u_{j,s+1} - u_{ji}}{c_{j^x}} \right)} \quad (1)$$

В формуле 1 $\Phi(*)$ – это ядерная «сглаживающая» функция, а c_{j^x} – коэффициент размытости ядра [5].

Ядро – это непрерывная ограниченная симметричная вещественная функция $\Phi(*)$ с единичным интегралом. Данная функция нужна для определения веса коэффициентам u_{ij} , $i = \overline{1..s}$, $j = \overline{1..k}$, которые используются для вычисления оценки x_{s+1} (в данном случае x_{s+1} – один из экологических признаков).

Поскольку для решения данного вида задач все чаще используют нейронные сети, проведем аналогию между ядерным сглаживанием и нейронными сетями. Возьмем переменную ω :

$$\omega_i = \frac{\prod_{j=1}^k \Phi \left(\frac{u_{j,s+1} - u_{ji}}{c_{j^x}} \right)}{\sum_{m=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi \left(\frac{u_{j,s+1} - u_{jm}}{c_{j^x}} \right)}, \quad (2)$$

тогда формула (1) примет следующий вид:

$$x_{s+1} = \sum_{i=1}^s x_i \omega_i, \quad (3)$$

который соответствует формуле нейрона (в интерпретации нейронной сети ω – это вес, выполняющий ту же функцию, что и в ядерном сглаживании), что свидетельствует о близости данных подходов.

На рисунке 1 представлены виды непараметрических ядер [6].

От выбранного коэффициента размытости c_{j^x} напрямую зависит качество построенной модели. Данный коэффициент определяет степень участия элементов выборки в вычислении \hat{x}_{s+1} в точке u_m .

Особенности обрабатываемых данных

Данные об экологической обстановке в г. Красноярске получены с постов наблюдения за загрязнением атмосферы Среднесибирского УГМС. Распределение их по территории города отображено на рисунке 2.

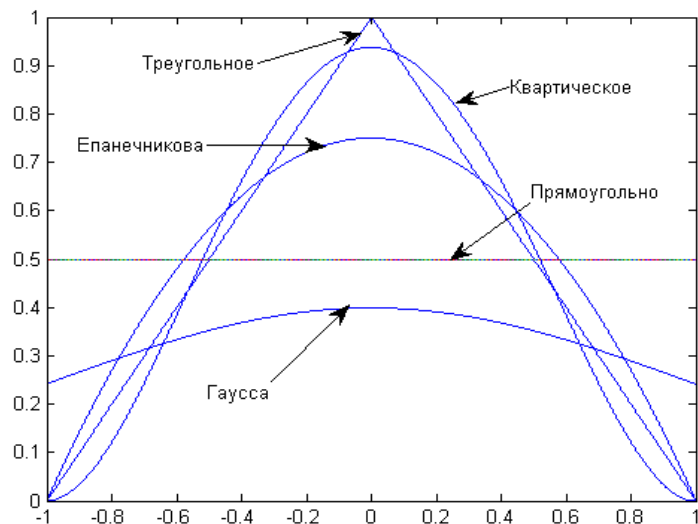


Рисунок 1 – Виды непараметрических ядер

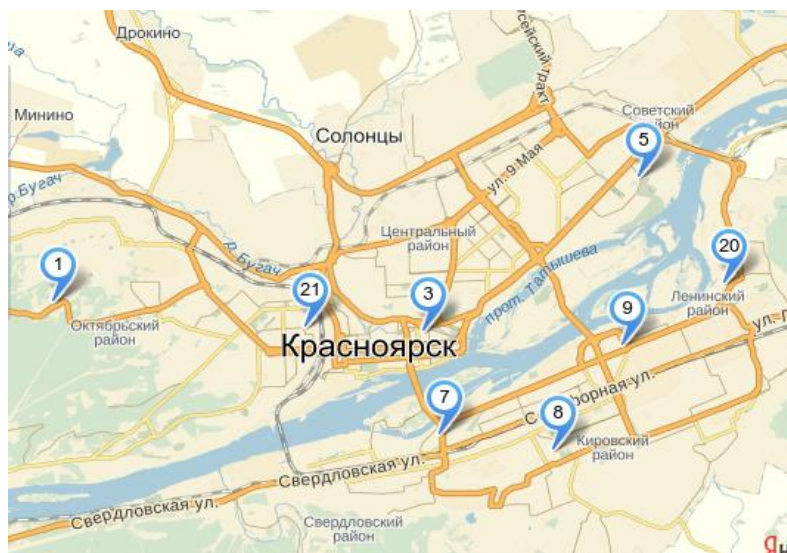


Рисунок 2 – Расположение постов наблюдения за загрязнением атмосферы в г. Красноярск

На постах выполняются измерения концентраций следующих веществ: SO₂, сульфат, CO, NO₂, NO, H₂S, CS₂, Фенол, HF, Cl₂, HCl, NH₃, Бензол, Ксилол, Толуол, Этилбензол. Также определяются температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра. Отбор проб осуществляется 4 раза в сутки: 01.00, 07.00, 13.00 и 19.00.

Данные мониторинга состояния окружающей среды, к сожалению, не всегда полновесны. Существуют пропуски данных, как по значениям метеопараметров, так и по значениям концентраций вредных веществ. Многие посты имеют большую удаленность друг от друга (рисунок 2). И увеличение частоты отбора проб, не приведет к увеличению обучающей выборки (в ее стандартной интерпретации), так как измерения проводятся в одних и тех же точках.

Вследствие вышеописанной проблемы, при использовании стандартного ядра, многие точки будут иметь нулевой вес, что недопустимо при таком объеме выборки. Для исключения этой проблемы использовалось гауссово ядро, которое задается формулой:

$$\Phi(x) = (2\pi)^{-1/2} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \tag{4}$$

При помощи данного ядра будут розданы веса таким входным параметрам как широта и долгота. Другие входные параметры данной задачи не подвержены влиянию вышеописанной проблемы, вследствие этого, для их учета будет использоваться стандартное треугольное ядро.

Таким образом, модель будет представлять собой следующий вид:

$$x_{s+1} = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \Phi_1\left(\frac{u_{1,s+1} - u_{1,i}}{c_1}\right) * \Phi_1\left(\frac{u_{2,s+1} - u_{2,i}}{c_2}\right) * \Phi_2\left(\frac{t_{s+1} - t_i}{c_3}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi_1\left(\frac{u_{1,s+1} - u_{1,i}}{c_1}\right) * \Phi_1\left(\frac{u_{2,s+1} - u_{2,i}}{c_2}\right) * \Phi_2\left(\frac{t_{s+1} - t_i}{c_3}\right)} \quad (5)$$

где $u_{1,i}$ – долгота точки измерения;

$u_{2,i}$ – широта точки измерения;

t_i – время измерения;

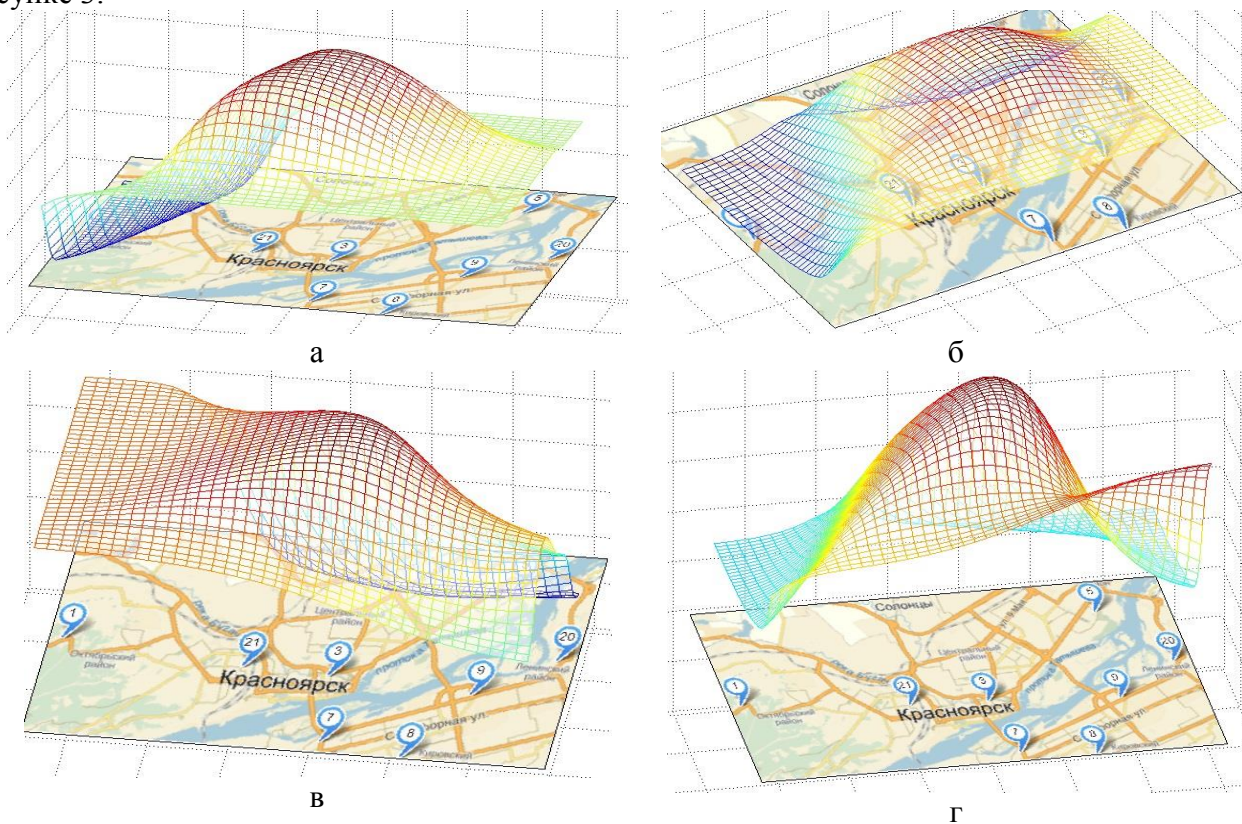
$i = \overline{1..s}$ – номер измерения;

Φ_1 – гауссово ядро;

Φ_2 – треугольное ядро.

Результаты моделирования

С помощью предложенной модели были выполнены сценарные расчеты содержания СО в атмосферном воздухе г. Красноярска. Оксид углерода наиболее часто используют в качестве прогнозируемого параметра в моделях качества воздуха в силу его химической инертности. Время нахождения в воздухе этого вещества без вступления в химические реакции достигает 5 дней. Распределение концентраций СО по территории города Красноярска в разные периоды по результатам математического моделирования представлено на рисунке 3.



а – 14.01.2004 13.00; б – 10.02.2004 13.00; в – 08.05.2004 13.00; г – 15.01.2004 19.00

Рисунок 3 – Пространственное распределение СО в г. Красноярск (расчетные данные)

Согласно выполненным расчетам наибольшие уровни загрязнения наблюдаются в центральном районе города, что объясняется наибольшей плотностью в центре города автомобильных потоков, являющихся основным источником выбросов оксида углерода.

Результаты расчетов вполне согласуются с данными натурных наблюдений. Это позволяет сделать вывод, что данная модель в общей мере отражает экологическую обстановку в городе.

Заключение

В работе предложена модель прогноза экологической ситуации в городе Красноярске. В дальнейшем, возможно её расширение, что позволит рассчитывать распространение загрязнения не только в пространстве, но и во времени и увеличит точность прогнозов.

Кроме определения содержания CO, модель может быть использована для любых других загрязняющих веществ. Для расчетов содержания химически активных веществ модель необходимо дополнять блоком, учитывающим трансформации в атмосферном воздухе города. Очевидна необходимость применения данного подхода в принятии управленческих решений, регулирующих экологическую обстановку, в режиме реального времени. Наиболее актуальной является задача выбора пунктов наблюдения и оптимизации программы мониторинга качества атмосферного воздуха в связи с необходимостью развития региональных сетей мониторинга.

Библиографический список

1. Тасейко О.В., Сугак Е.В. Репрезентативность пунктов наблюдения при оценке качества воздуха в городской среде. - *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 6, с.1-11. URL: <http://www.science-education.ru/120-15560>. ISSN 2070-7428 .
2. Аналитический обзор состояния и загрязнения атмосферного воздуха <http://krasecology.ru/Air/LabReport>. (Дата обращения 14.08.2015).
3. Молодой ученый. Информационная система для моделирования распространения загрязнения атмосферного воздуха с использованием ArcGIS. URL: <http://www.moluch.ru/conf/tech/archive/4/895> (Дата обращения 14.07.2015)
4. Кошкин Г.М., Пивен И.Г. Непараметрическая идентификация стохастических объектов / Дальневост. отд-ние Рос. акад. наук. – Хабаровск, 2009.
5. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. – М.: Наука, 1970.
6. Васильев В. А., Добровидов А.В., Кошкин Г.М. Непараметрическое оценивание функционалов от распределений стационарных последовательностей. – М.: Наука, 2004.

КТ-МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА

Кузьмин М.В., Медведев А.В., Мальцева Т.В.

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева.
г. Красноярск, Россия*

Задача идентификации являлась и является основной в теории автоматического управления. Под идентификацией понимается:

1. Сбор и обработка данных. Задача данного этапа заключается в том, чтобы определить перечень входных и выходных сигналов, выбрать максимально информативные данные об объекте идентификации.

2. Построение модели на основе имеющихся данных. Модель должна строиться таким образом, чтобы она была способна отразить все интересующие нас аспекты исследуемой системы.

3. Настройка параметров модели. Целью настройки является получение экстремума по заранее установленным критериям (в общем случае речь идёт о критерии эффективности) [6, 7].

Схема дискретно-непрерывного процесса представлена на рисунке 1.

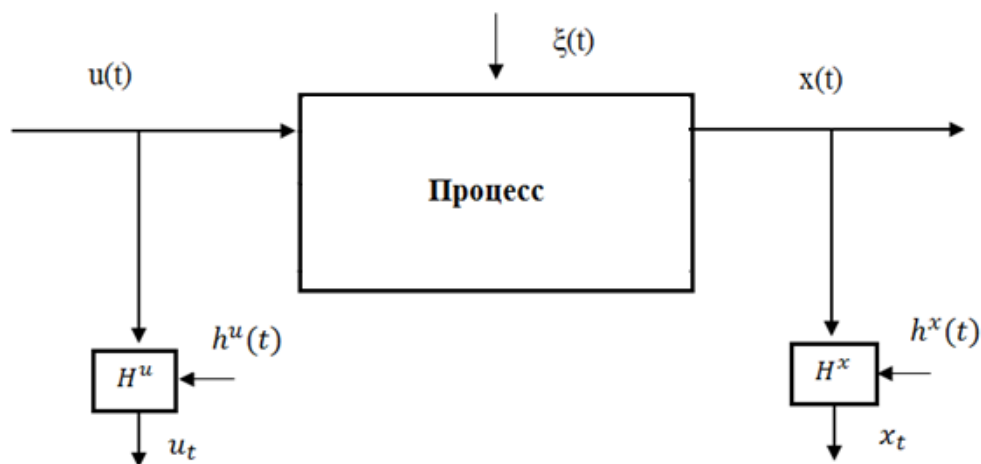


Рисунок 1 – Дискретно-непрерывный процесс и контроль переменных

На вход исследуемого процесса поступают вектор входных переменных $u(t) \in \Omega(u) \subset R^n$, и вектор выходных переменных $x(t) \in \Omega(x) \subset R^m$, контролируемые в дискретные моменты времени. В ходе изучения работы объекта, может быть получена выборка наблюдений (обучающая выборка) $X(t_i) = (x_1(t_i), \dots, x_m(t_i))$, $U(t_i) = (u_1(t_i), \dots, u_n(t_i))$, $i = \overline{1, s}$, (где s – объём полученной в результате измерений входов и выходов средствами контроля H^u и H^x), также на процесс поступает вектор случайных неконтролируемых воздействий $\xi(t)$. $h^u(t)$ и $h^x(t)$ – случайные погрешности измерений входных и выходных сигналов.

Для идентификации дискретно-непрерывного процесса, необходимо, пользуясь выборкой наблюдений, построить модель исследуемого объекта и настроить её параметры таким образом, чтобы при поступлении очередного управляющего воздействия $U(t_i) = (u_1(t_i), \dots, u_n(t_i))$ на систему, модель давала бы оценку $\bar{X}(t_i) = (\hat{x}_1(t_i), \dots, \hat{x}_m(t_i))$, максимально близкую к реальному значению вектора выходов $X(t_i) = (x_1(t_i), \dots, x_m(t_i))$, $i = \overline{1, s^*}$, (где s^* – объём экзаменуемой (тестовой) выборки).

В качестве частного случая объекта идентификации рассматривается многомерная безынерционная система, где компоненты вектора выходов $X(t)$ стохастически зависимы. В связи в этом данные виды процессов не могут быть описаны в классической постановке [6, 7] в виде $x(t) = f(u^{<j>}(t), \alpha)$, где α – вектор параметров, поэтому требуют иного метода решения. Далее, процессы, выходные переменные которых имеют неизвестные стохастически связи называются Т-процессами, а их модели, соответственно, Т-моделями [5, 8].

Исследуемая многомерная безынерционная система может быть представлена на нижеследующем рисунке 2.

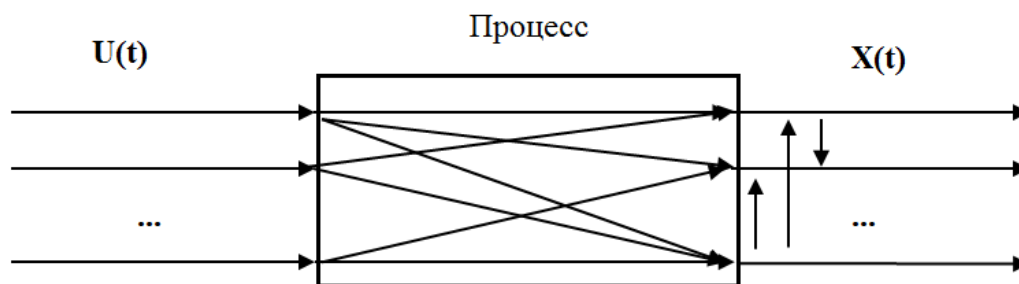


Рисунок 2 – Многомерная безынерционная система

На рисунке 2 приняты обозначения: $U(t) = (u_1(t), \dots, u_n(t))$ – n -мерный вектор входных переменных, $X(t) = (x_1(t), \dots, x_m(t))$ – m -мерный вектор выходных переменных, где стрелки внутри объекта отражают, что $u^{<j>}(t), x^{<j>}(t)$, – составные векторы. Вертикальные стрелки у компонент вектора $X(t)$ означают их стохастическую зависимость, что даёт основание назвать процесс, обозначенный на рисунке 2 – T -процессом. В результате измерения входных и выходных переменных может быть получена выборка: $X(t_i) = (x_1(t_i), \dots, x_m(t_i))$, $U(t_i) = (u_1(t_i), \dots, u_n(t_i))$, $i = \overline{1, s}$, которая используется для построения адаптивной модели этого процесса.

Однако, помимо выборки наблюдений, для построения модели будет использована информация другого уровня неопределённости. Относительно некоторых каналов исследуемого процесса известна из имеющейся априорной информации параметрическая структура модели. Модели, использующие информацию различных уровней неопределённости о каналах связи будут названы K -моделями [8]. Цель использования K -моделей в том, чтобы максимально реализовать всю имеющуюся об исследуемом объекте информацию, даже если эта информация разнотипна, а не основываться при построении модели лишь на выборку наблюдений, либо только параметрическую структуру.

Модели объектов, представленных на рисунке 2, при разнотипной априорной информации о различных каналах связи назовём KT -моделями, которые имеют вид:

$$\begin{cases} F_j(u^{<j>}(t), x^{<j>}(t), \alpha) = 0, j = \overline{1, m_1} \\ F_j(u^{<j>}(t), x^{<j>}(t), \vec{x}_s, \vec{u}_s) = 0, j = \overline{m_1 + 1, m} \end{cases} \quad (1)$$

где $u^{<j>}(t), x^{<j>}(t)$, – составные векторы (каждый j -ый канал зависит от нескольких из компонент всего вектора, но не обязательно всех, например $(u^{<7>} = (u_1, u_3, u_5))$ – составной вектор и компоненты u_2, u_4, u_6, u_7 – не входят в его состав в силу причин, кроющихся в природе изучаемого процесса), а \vec{x}_s, \vec{u}_s – временные векторы (набор данных, поступивший в s -ый момент времени). Используя эти модели, при заданном значении вектора входных переменных $U(t)$, необходимо решить систему (1) относительно компонент вектора выходных переменных $X(t)$.

Имея разнотипную информацию о системе, возникает потребность в применении специфического алгоритма её решения:

– сначала в уравнение (1) подставляется l -ое поступление входных переменных $U(t_l) = (u_1(t_l), \dots, u_n(t_l))$, $l = \overline{1, s^*}$, где s – объём обучающей выборка, s^* – тестовой, соответственно l – вновь поступивший набор входных воздействий, для которого необходимо произвести прогноз, затем последовательно подставляются элементы выходных переменных из обучающей выборки $X(t_i) = (x_1(t_i), \dots, x_m(t_i))$, $i = \overline{1, s}$, в результате получаем невязки e_{li} , $i = \overline{1, s}$ для каждого вновь полученного l -го набора входных данных, $l = \overline{1, s^*}$;

Невязки вычисляются по формуле (2):

$$\begin{cases} e_{li}(t) = F_j(u_l^{<j>}(t), x_i^{<j>}(t), \alpha), j = \overline{1, m_1} \\ e_{li}(t) = F_j(u_l^{<j>}(t), x_i^{<j>}(t), \vec{x}_s, \vec{u}_s), j = \overline{m_1 + 1, m} \end{cases} \quad (2)$$

– следующий шаг состоит в оценивании условного математического ожидания [1, 2]

$$x_j = M\{x|u^{<j>}, e = 0\}, j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

В качестве оценки (3) примем непараметрическую оценку регресс

$$(x^{<j>}) = \frac{\sum_{t=1}^s x_1 \cdot \prod_{i=1}^{<n>} \Phi\left(\frac{u_i - u_j(t)}{c_{su_j}}\right) \prod_{k=1}^{<m>} \Phi\left(\frac{e_k(t)}{c_{se_k}}\right)}{\sum_{t=1}^s \prod_{i=1}^{<n>} \Phi\left(\frac{u_j - u_j(t)}{c_{su_j}}\right) \prod_{k=1}^{<m>} \Phi\left(\frac{e_k(t)}{c_{se_k}}\right)}, j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

где колоколообразные функции $\Phi(\cdot)$ ($\Phi(x) = \exp(-\frac{x^2}{2})$) и коэффициент размытости c_s удовлетворяет условиям сходимости [2 – 4]. Таким образом, формула (4) даёт решение системы (1), которое и является оценкой (прогнозом) выходных переменных $X(t)$ при значениях входной переменной равной $U(t)$.

При использовании подобной (4) формы непараметрической оценки регрессии, значение оценки формируется на основании значений известных точек обучающей выборки, наибольшее участие в формировании оценки принимают те точки, значения входов которых наиболее близки к входам оцениваемой точки. Метод невязок же позволяет помимо входов, так же задействовать в формировании оценки другие выходы (пускай и косвенно). Достигается это использованием, так называемых невязок, значения которых отражают то, насколько вновь поступивший s -й вектор входных воздействий $U(t_i)$ сочетается с вектором выходов $X(t_i)$. Чем больше значение невязки, тем меньшую роль будет играть в формировании оценки данные компоненты вектора выхода из обучающей выборки. Нулевое значение невязки $e_{li}(t)$ может быть получено в том случае, если вновь поступившие компоненты вектора входа $U(t_i)$ абсолютно совпадают с компонентами вектора выхода из обучающей выборки $U(t_i)$.

Путём многочисленных экспериментов будут выявлены те значения параметров модели, при которых решение системы (1) (прогноз) будет давать экстремум функции эффективности. За функцию эффективности примем относительно среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \frac{1}{s^*} \frac{1}{m} \sum_{t=1}^{s^*} \sum_{j=1}^m \frac{\sqrt{(x_j(t) - x_j(u_i^{<j>}))^2}}{\sqrt{(x_j(t) - M_{x_j})^2}}, \quad (5)$$

где $x_j(t)$ – истинное значение j -й компоненты вектора выходных, M_{x_j} – математическое ожидание данного компонента вектора выхода (на практике естественно используется его оценка – среднее арифметическое $\frac{1}{s} \sum_{t=1}^s x_j(t)$).

Возьмём конкретный пример, в котором первые три уравнения системы – параметрические и известны из априорной информации, остальные четыре представлены лишь в виде качественных зависимостей:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 u_1 - 2x_2 u_3 + 1,5u_4 - 0,8u_6 = 0 \\ x_3 u_4 u_5 - x_3 u_3 - 2u_4 u_{10} + u_1 u_{10} = 0 \\ x_5 u_1 u_4 - x_7 u_{10} + u_1 u_4 u_8 = 0 \\ F_{x_2}(x_1, x_2, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5) = 0 \\ F_{x_4}(x_4, x_5, u_1, u_2, u_5, u_6, u_{10}) = 0 \\ F_{x_6}(x_2, x_6, u_2, u_6, u_8, u_9) = 0 \\ F_{x_7}(x_4, x_7, u_1, u_5, u_7, u_{10}) = 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

Система (7) образует КТ-модель процесса, описываемого системой (6).

$$\left\{ \begin{array}{l} e_1 = x_1^t u_1^\tau - 2x_2^t u_3^\tau + 1,5u_4^\tau - 0,8u_6^\tau \\ e_2 = F_{e_2}(x_1^t, x_2^t, u_1^\tau, u_2^\tau, u_3^\tau, u_4^\tau, u_5^\tau) \\ e_3 = x_3^t u_4^\tau u_5^\tau - x_3^t u_3^\tau - 2u_4^\tau u_{10}^\tau + u_1^\tau u_{10}^\tau \\ e_4 = F_{e_4}(x_2^t, u_1^\tau, u_2^\tau, u_3^\tau, u_4^\tau, u_5^\tau) \\ e_5 = x_5^t u_1^\tau u_4^\tau - x_7^t u_{10}^\tau + u_1^\tau u_4^\tau u_8^\tau \\ e_6 = F_{e_6}(x_2^t, x_6^t, u_2^\tau, u_6^\tau, u_8^\tau, u_9^\tau) \\ e_7 = F_{e_7}(x_4^t, x_7^t, u_1^\tau, u_5^\tau, u_7^\tau, u_{10}^\tau) \end{array} \right. ; t = [1, 1000], \tau = [1001, 1020] \quad (7)$$

где e_j , $j = \overline{1,7}$ – невязки, вычисляемые либо на основании первых трёх уравнений системы (6), либо лишь выборки (4-е уравнение системы (6)) для невязок, соответствующие компоненты вектора выхода которых, не могут быть выведены из параметрических уравнений.

Алгоритм прогноза для системы (6) имеет вид (8):

$$x_{js}(u^{<j>}) = \frac{\sum_{t=1}^{1000} x_j(t) \cdot \prod_{i=1}^{<10>} \Phi\left(\frac{u_i - u_i[t]}{c_{su_i}}\right) \prod_{j=1}^{<7>} \Phi\left(\frac{e_j[t]}{c_{se_j}}\right)}{\sum_{t=1}^S \prod_{i=1}^{<10>} \Phi\left(\frac{u_i - u_i[t]}{c_{su_i}}\right) \prod_{j=1}^{<7>} \Phi\left(\frac{e_j[t]}{c_{se_j}}\right)}, \quad j = \overline{1,7}.$$

Пример результатов вычислительных экспериментов представлен на рисунках 3, 4:

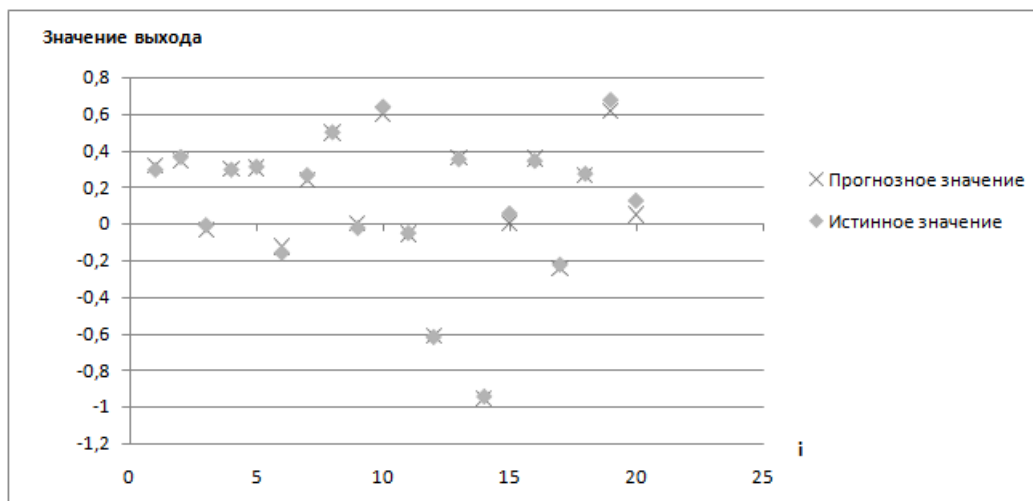


Рисунок 3 – Прогноз выходной переменной при отсутствии помех. Ошибка (5) $\sigma = 0.052$

В заключение отметим, что КТ-модели являются моделями нового типа в теории идентификации. Обратим внимание на то, что КТ-модели представляют собой органический синтез параметрических и непараметрических моделей. Проведённые многочисленные расчёты демонстрируют высокую эффективность работы КТ-модели.

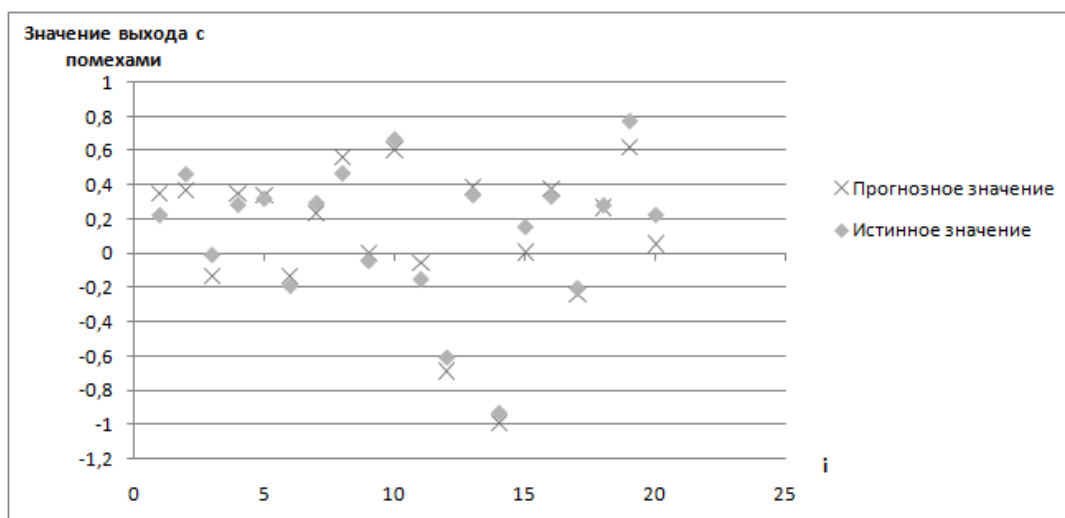


Рисунок 4 – Прогноз выходной переменной после введения помех. Ошибка (5) $\sigma = 0.068$

Библиографический список

1. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование. Вестник СибГАУ, 2010. № 4 (31). С. 4 – 9.
2. Мальцева Т. В., Медведев А. В. Исследование алгоритма прогноза выхода комбинированной многосвязной системы. Молодой учёный, 2011. №6(49). С. 73-79.
3. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия. Пер. с англ. – М., Мир. 1993. – 327 с.
4. В. А. Васильев, А.В.Добровидов, Г.М. Кошкин. Непараметрическое оценивание функционалов от распределений стационарных последовательностей. М.:Наука, 2004. – 508 с.
5. Медведев А. В. Основы теории адаптивных систем. Изд. СибГАУ. Красноярск. 2015. 525 с.
6. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер с англ./ Под ред.Я.З. Цыпкина М.:Наука, Гл. ред. физ.–мат. лит.,1991. – 432 с.
7. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 336 с.
8. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. К-модели. Вестник СибГАУ, 2011. № 3 (36). С. 6 – 12.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Карташов В.Я., Пивоварова А.Р., Самойленко С.С.

*Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия*

Как следует из названия предлагаемого доклада, главная особенность обсуждаемой проблемы состоит в структурно-параметрической адаптации моделей динамических объектов управления. Авторы понимают сложность этой задачи, поэтому вынуждены сделать ряд предположений с целью доведения подхода до иллюстрации основных положений на конкретном примере. Во-первых, рассматриваются объекты, допускающие применение линейных моделей. Главное отличие адаптивных систем управления согласно [1] состоит в том, что они могут подстраиваться к определяемым в режиме реального времени изменяющимся характеристикам объектов и протекающим в них процессам. При этом необходимый минимум информации об объекте, его порядке и параметрах, получают путем обработки измерений входных и выходных сигналов. А это приводит к системам с адаптацией по замкнутому циклу. Структурно это равносильно введению второй обратной связи (рисунок 1) [1]. Понятно, что преодолеть возможные трудности такой проблемы можно при использовании преимуществ цифровых систем управления, причем замкнутые контуры должны «работать» в реальном времени с разным темпом. Согласно схеме на рисунке 1, с учетом вышесказанного, процесс адаптации и управления проходит в три этапа [1, 3, 4]:

- 1) Идентификация объекта в режиме реального времени.
- 2) Расчет регулятора при наличии изменений характеристик.
- 3) Настройка регулятора с возможным изменением его структуры (в работе не рассматриваются регуляторы с эталонной моделью).

Учитывая возможности цифровых систем управления, будем предполагать, что в основном практически все элементы и подсистемы реализованы на цифровой технике, хотя допустимы случаи применения каких-то аналоговых элементов. На рисунке 1 указаны два контура: а) контур текущей идентификации с периодом дискретизации Δt , б) контур управления с периодом дискретизации Δt_u . Функционирование подобной системы приведено на рисунке 2 в виде принципиальной схемы.

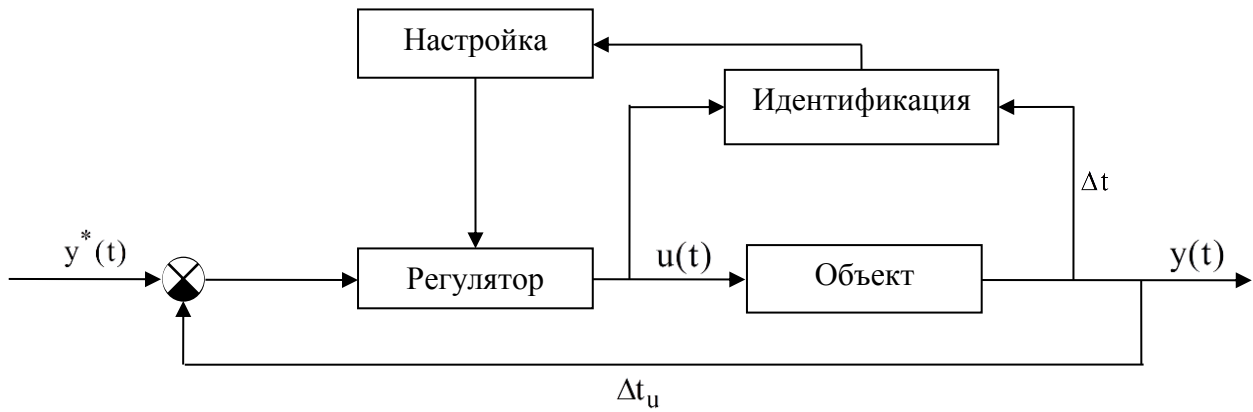


Рисунок 1 – Обобщенная схема адаптивной системы управления

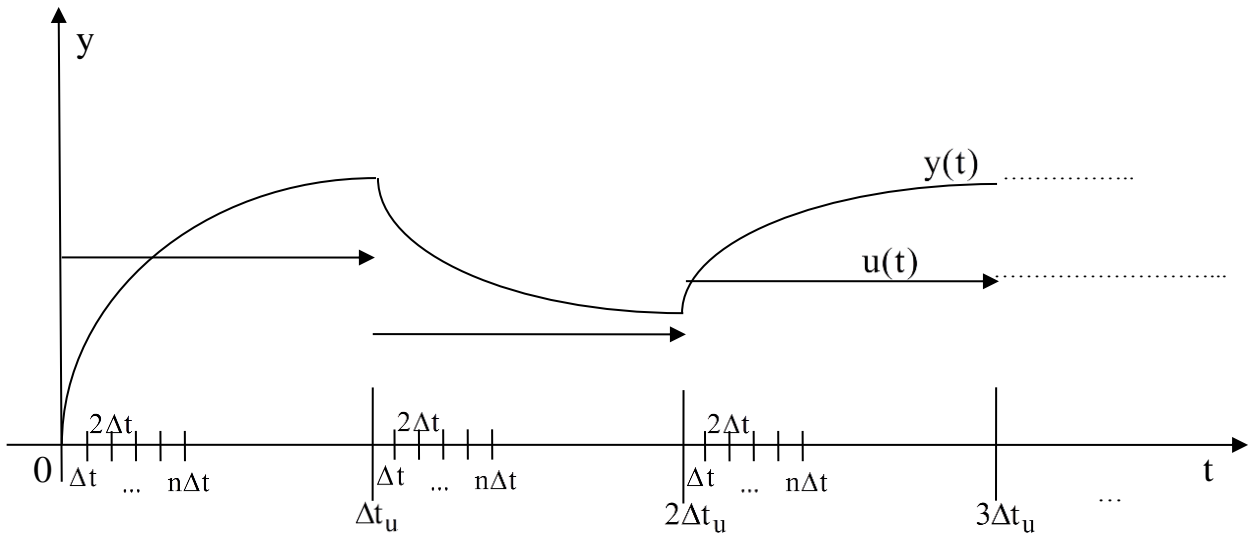


Рисунок 2 – Схема функционирования системы управления

Основными положениями приняты [6]:

- Взаимно-однозначное соответствие между линейными (линеаризованными) аналоговыми и дискретными моделями на основе согласованного z -преобразования.
- Использование алгоритмов теории непрерывных дробей, осуществляющих восстановление дискретных передаточных функций.
- Вариации периодов дискретизации, позволяющих получать эквивалентные дискретные передаточные функции для любых $\Delta t \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$.

Кроме сформулированных выше базовых положений были получены и доказаны следующие утверждения:

- Обоснована работоспособность и достоверность использования многочастотного квантования для любых $\Delta t \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$.
- Метод SP-идентификации.

На основе полученных результатов в работе представлен основной принцип текущей идентификации, который приблизительно можно представить следующей схемой (рисунок 3).

Обобщенный алгоритм текущей идентификации моделей включает следующие этапы:

Этап 1. (Информация с предыдущего $(i-1)$ управляющего интервала) имея отсчеты на этом этапе с периодом дискретизации Δt ($u_{i-1}(\Delta t), y_{i-1}(k\Delta t)$), где $k = 0, 1, \dots, n$, используя метод SP-идентификации, восстанавливаем передаточную функцию $y_{i-1}(z)$ и переходную характеристику $y_{i-1}^M(t)$.

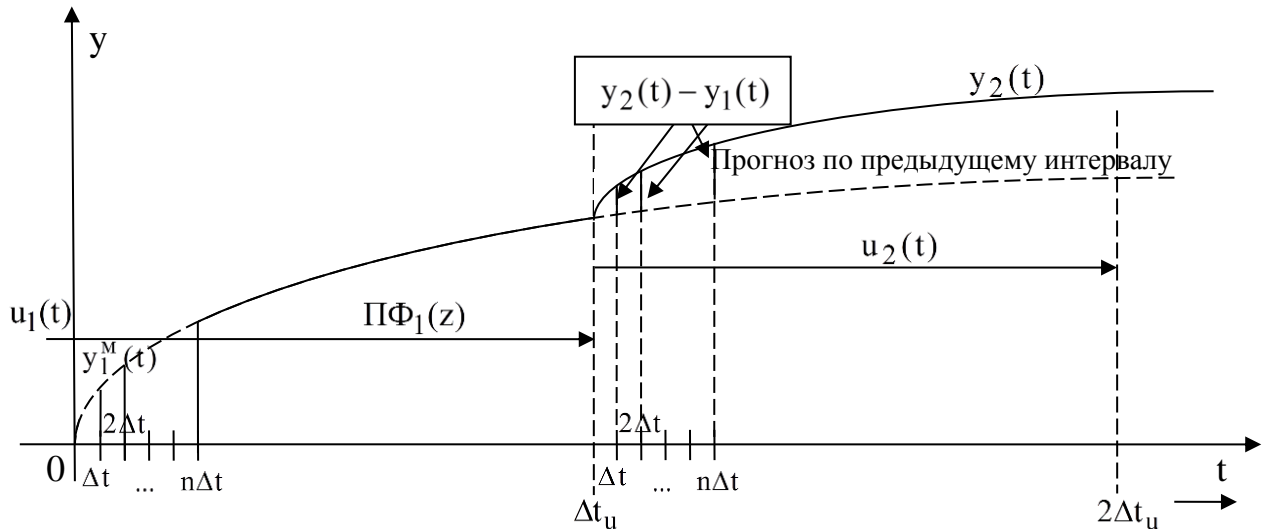


Рисунок 3 – Схема адаптации моделей

Этап 2. Используя переходную характеристику $y_{i-1}^M(t)$ осуществляем прогноз «модели» на интервал времени $[t_{i,u}, t_{i,u} + \Delta t_u)$.

Этап 3. В момент $t_{i,u}$ принято и реализовано управляющее воздействие $u_{i,u}(t)$, осуществляем этап 1 с проведением опроса с Δt_i и получением переходной характеристики $y_i^H(t)$, на рисунке 2 $y_i^H(t) = y_2(t)$.

Этап 4. Находим изменения, вызванные $u_{i,u}(t)$ по соотношению:

$$y_i(t) = y_i^H(t) - y_{i-1}^M(t), \quad (1)$$

которая является исходной информацией для а) определения передаточной функции на i -том интервале с помощью метода SP-идентификации и б) прогноза переходной характеристики на следующий интервал $y_{i+1}^M(t)$.

Этап 5. Сравниваем передаточные функции на $i-1$ и i этапе и делаем вывод об её изменении или нет и т. д.

Выражение (1) по своей структуре подобно структуре пересчетной модели в натурно-математическом моделировании [2], только в данной работе осуществляется конкретизация управляющего воздействия на соответствующих временных интервалах (включая модельный прогноз, реальные измерения и т.п.).

Подобная идея использования прогноза в идентификации не нова [5], но в основе нашей работы лежит передаточная функция и аппарат работы с непрерывными дробями.

Приведем пример иллюстрирующий алгоритм определения передаточной функции предложенным способом.

Рассмотрим аperiодический объект первого порядка с передаточной функцией вида:

$$G(s) = \frac{k}{Ts+1}. \text{ Для определенности будем считать } k=1, T=2. \text{ На вход объекта подано}$$

ступенчатое воздействие в виде: $1(t) = \begin{cases} 1; t \geq 0 \\ 0; t < 0 \end{cases}$. Переходная характеристика объекта на ступенчатое входное воздействие $x(t) = 1(t)$ описывается временной функцией: $y(t) = 1 - e^{-\frac{t}{2}}$.

Выберем шаг дискретизации $\Delta t = 0,5$ сек, $\Delta t_u = 3$ сек. Входное воздействие представим в виде соотношения, зная ступенчатые воздействия: $A_1 = 3, A_2 = 1, A_3 = 2, A_4 = 0, A_5 = 0$:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n A_i [1(t - (i-1)\Delta t) - 1(t - i\Delta t)].$$

Для восстановления модели на интервале $[3;6)$, используем метод SP-идентификации. Дискретную передаточную функцию объекта аппроксимируем дробно-рациональной функцией в виде:

$$G(z) = \frac{0,632121z^{-1}}{1 - 0,367879z^{-1}}.$$

Вычисляем прогнозирующую функцию $y^M(n)$. Управляющее воздействие примет вид: $y^M(n) = 0.632121y(n-1) - 0,367879x(n-1)$.

Используя измеренные значения на каждом интервале, вычтем из измеренных значений полученные значения на соответствующих шагах дискретизации. Найдем значения $y^M(n)$ на интервале $[3;6)$. Аналогично для интервалов $[6;9)$, $[9;10)$.

На рисунке 4 представлены: график измеренных значений сигнала ($y_{\text{изм}}$); графики полученных значений сигнала на интервалах $[3;6)$, $[6;9)$ и $[9;10)$ ($y_{\text{пр}}$); графики разностей между измеренными значениями сигнала и полученными значениями на соответствующих интервалах $[3;6)$, $[6;9)$ и $[9;10)$ ($y_{\text{изм}} - y_{\text{пр}}$).

Таким образом, искомый объект представляет собой аperiodический объект первого порядка с передаточной функцией вида: $G(s) = \frac{k}{Ts+1}$, где $k = 1, T = 2$.

Примечание: при обнаружении значимых расхождений в передаточных функциях на предыдущем и текущем интервалах управления происходит изменение коэффициентов регулятора.

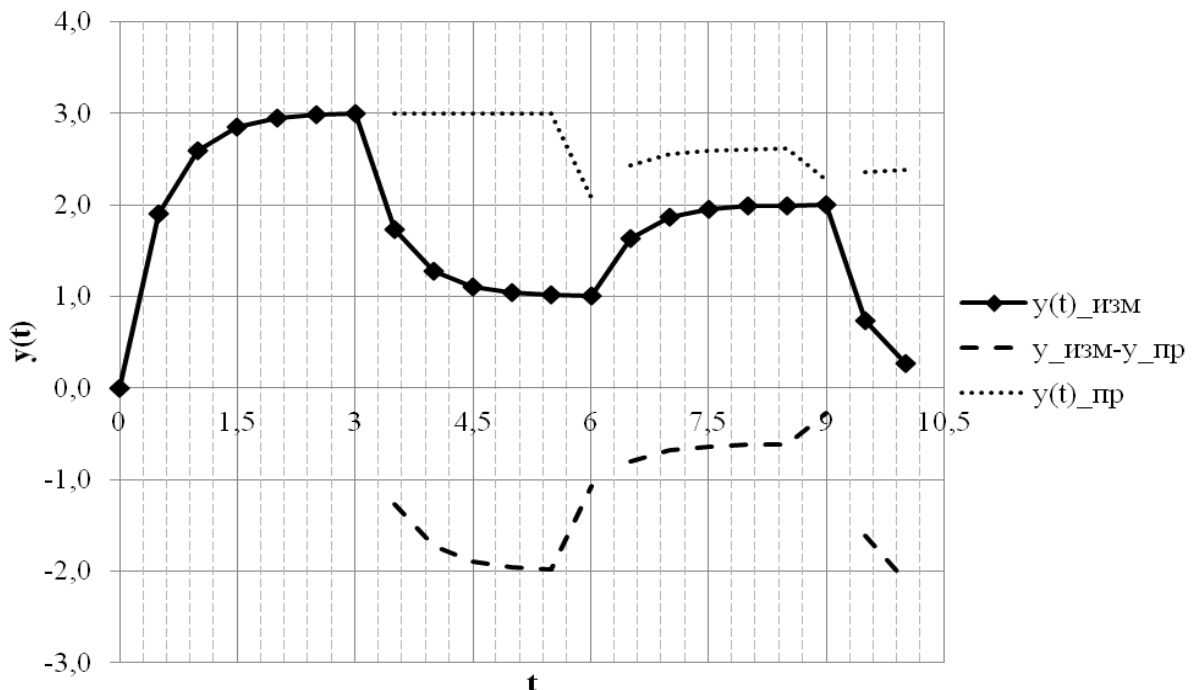


Рисунок 4 – График измеренных значений сигнала

Библиографический список

1. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. // М.: Мир, 1984. – 541с.
2. Авдеев В. П. Натурно-математическое моделирование в системах управления. Учебное пособие / В. П. Авдеев, С. Р. Зельцер, В. Я. Карташов, С. Ф. Киселев // Кемерово: Кемеровский государственный университет, 1987. – 84 с.
3. Ротач В. Я. Теория автоматического управления / В. Я. Ротач // М: МЭИ, 2004. – 81с.
4. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо // М.: Бином, Лаборатория знаний, 2013. – 911 с.
5. Гроп П. Методы идентификации систем / П. Гроп // М.: Мир, 1979. – 302с.
6. Карташов В. Я. Структурно-параметрическая идентификация динамических объектов в режиме реального времени / В. Я. Карташов, Л. В. Карташова, С. С. Самойленко // Кемерово: Вестник Кемеровского государственного университета. Т. 1. № 1., 2015. – 5,5с.

МЕТОДЫ ПЛАНИРУЕМОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ЗАДАЧАХ ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статников И.Н., Фирсов Г.И.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
г. Москва, Россия*

Построение и исследование моделей механических колебательных систем тесно связано с процедурами оценки адекватности построенных моделей, протекающим в этих системах динамическим процессам. Обычно задачу адекватности модели сводят к процедуре параметрической идентификации [1, 2], т.е. к определению набора численных значений параметров системы, обеспечивающим минимальное расхождение в заданной метрике экспериментальных и теоретических значений тех или иных характеристик системы: временных, частотных и т.д. Вместе с тем следует учитывать, что определение значений параметров системы по экспериментальной информации в общем случае представляет собой задачу, некорректную по Адамару, т.е. любой заданной экспериментальной характеристике может соответствовать бесконечное множество возможных приближений. Так, при аппроксимации передаточной функции линейной системы рациональной дробью вида

$$H(p) = \frac{\sum_{i=0}^n a_i p^i}{\sum_{i=0}^m b_i p^i}$$
 эту дробь можно представить в виде образа вектора ее коэффициентов $e(a_0, a_1, \dots, a_n; b_0, b_1, \dots, b_m)$ при отображении H из $r = n + m + 2$ -векторного пространства E^r в пространство функций $C(a, b)$, непрерывных на отрезке $[a, b]$. В пространстве E^r задана обычная норма $\|e\|_{E^r} = \left(\sum_{i=1}^r e_i^2 \right)^{1/2}$. При этом, несмотря на непрерывность отображения H , не-

прерывность обратного отображения H^{-1} на множестве $H(E^r) \subset C(a, b)$ не имеет места [3]. В частности, непрерывность нарушается в точках, где числитель и знаменатель дробно-рациональной функции имеют хотя бы по одному близкому корню. Нарушения непрерывности обратного отображения приводят к неустойчивости задачи восстановления аналитического вида дробно-рациональной функции. Поэтому для определения коэффициентов передаточной функции приходится применять различные формы метода регуляризации А.Н. Тихонова.

Для верификации модели может быть использован специально спланированный вычислительный эксперимент, который позволит выделить области значений параметров, в которых функционирование модели в достаточной степени адекватны экспериментальным наблюдениям. Не рассматривая используемые оценки адекватности модели, сконцентриру-

емся на вопросе построения такого плана вычислительного эксперимента, который позволит решить поставленную задачу: оценить области значений параметров, при которых наблюдаются те или иные особенности поведения модели, отражающие соответствующие состояния исследуемого объекта. В качестве примера используем данные экспериментального исследования динамики механизмов поворотных столов агрегатных станков.

При диагностировании унифицированных поворотных столов в ряде случаев выявляемые дефекты связаны с изменением ряда параметров вследствие естественных процессов разгерметизации, износа и разрегулирования. При этом изменения различных параметров могут порознь или в совокупности приводить к одному и тому же дефекту, поэтому выделить конкретную причину его возникновения достаточно трудно. Укажем также на отсутствие норм на допустимые значения для многих параметров, подверженных изменению. Кроме того, во многих случаях отсутствуют возможности прямого изменения тех или иных изменяющихся параметров механизма или сами процессы измерения оказываются очень трудоемкими.

Поэтому предлагается, при наличии математической модели, адекватной исследуемым процессам работы механизма, решать часть диагностических задач с помощью того или иного вида анализа результатов математического моделирования на ЭВМ. В частности: выделить среди параметров математической модели значимые, изменения которых действительно приводят к возникновению дефектов; определить область значений выделенных параметров, в пределах которой появления дефектов не произойдет.

В результате экспериментальных исследований установлено, что в ряде случаев в механизме поворотного стола после остановки планшайбы на «жестком» упоре может происходить заклинивание червячного зацепления, т.е. при определенных значениях крутящего момента червяк не вращается. При дополнительном воздействии на червяк происходит его «страгивание», и в дальнейшем механизм движется только под действием гидромотора.

Математическая модель, описывающая движение механизма при его торможении и остановке с учетом воздействия на него упругого звена-фиксатора, имеет вид:

$$\frac{dp_1}{dt} = \left(\frac{1}{v} p_n - \frac{1}{v} p_1 - \frac{q}{R_4} \frac{dx}{dt} \right) \left(\frac{1}{E} + \alpha \frac{p_0}{p_1^2} \right)^{-1} \frac{1}{W_1}; \quad (1)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \left(\frac{q}{R_4} \frac{dx}{dt} - \frac{p_2 - p_e}{K} \right) \left(\frac{1}{E} + \alpha \frac{p_0}{p_2^2} \right)^{-1} \frac{1}{W_2}; \quad (2)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \left(\frac{K_M}{R_4} (p_1 - p_2) - R \operatorname{tg} \left(\frac{0,0175}{0,0145 \left(\frac{dx}{dt} \right)^{0,6} + 0,16} \right) \cos \lambda - R \sin \lambda \right) \frac{1}{J}; \quad (3)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \left(m_2 \operatorname{tg} \lambda \frac{d^2x}{dt^2} - c_2 \operatorname{tg} \lambda - c_2 \psi - (c_1 - c_2) y \right) \frac{1}{m_1 + m_2}; \quad (4)$$

$$\frac{d^2\psi}{dt^2} = \left(\operatorname{tg} \lambda - y - \psi \right) c_2 - c_3 \psi - F_{\text{тр}}(\psi) \frac{1}{m_3}; \quad (5)$$

$$R = \left(m_1 \frac{d^2y}{dt^2} + c_1 y \right) \left(\cos \lambda - \operatorname{tg} \left(\frac{0,0175}{0,0145 \left(\frac{dx}{dt} \right)^{0,6} + 0,16} \right) \sin \lambda \right)^{-1}; \quad (6)$$

$$F_{\text{тр}}(\dot{\psi}) = \begin{cases} +F & \text{если } \psi < 0, \\ -F & \text{если } \psi > 0, \\ c_3\dot{\psi} - c_2(\psi - y - x \operatorname{tg} \lambda)\dot{\psi} = 0, \\ |c_2(\psi - y - x \operatorname{tg} \lambda) - c_3\dot{\psi}| < F_{\text{тр}}, \end{cases} \quad (7)$$

где p_1, p_2 – давления в полостях гидромотора; p_n – давление настройки переливного клапана; v – характеристика переливного клапана; K_m – коэффициент момента гидромотора; q – удельный расход гидромотора; R_4 – радиус делительного диаметра червяка; E – модуль упругости рабочей жидкости; α – процент воздуха в рабочей жидкости; p_0 – атмосферное давление; W_1, W_2 – объем нагнетательной и сливной полостей гидромотора; λ – угол наклона витков червяка; K – коэффициент сопротивления потоку рабочей жидкости, создаваемый стабилизатором скорости; c_1, c_2, c_3 – жесткости осевой опоры червяка, кинематической цепи и узла фиксации соответственно; x, y – координаты движения червяка; J, m_1 – масса червяка по осям x, y ; m_2 – масса червячного колеса; ψ – координата планшайбы; m_3 – масса планшайбы; $F_{\text{тр}}(\dot{\psi})$ – сила трения в опорах планшайбы; p_e – подпор давления в сливной магистрали.

Экспериментами установлено, что параметрами, подверженными изменениям в процессе работы механизма, являются $c_1, c_2, c_3, K, m_3, \alpha, p_n, F_{\text{тр}}(\dot{\psi})$. Они образуют восьмимерный вектор \bar{b} . Заклинивание состоит в том, что движущий момент $M_{\text{дв}}$, развиваемый гидромотором, меньше момента трения червяка $M_{\text{тр}}$:

$$M_{\text{дв}} = J_M (z_1 - z_2) B K K_4 (a \cos \lambda - \sin \lambda) = M_{\text{тр}}, \quad (8)$$

где f – коэффициент трения в червячном зацеплении [4].

Критерием отсутствия заклинивания является величина разности между движущим моментом $M_{\text{дв}}$ и моментом трения $M_{\text{тр}}$, приложенных к червяку, которая, в конечном итоге, является функцией вектора коэффициентов математической модели \bar{b} ($c_1, c_2, c_3, K, m_3, \alpha, p_n, F_{\text{тр}}$) $\Phi(\bar{b}) = M_{\text{дв}} - M_{\text{тр}} > 0$. Из условия отсутствия заклинивания следует требование к функции $\Phi(\bar{b}) \rightarrow \max$. В исходном состоянии компоненты вектора \bar{b} образуют многомерную область $G(\bar{b})$:

$$b_j^* < b_j < b_j^{**}, \quad (9)$$

где $j = 1, 2, \dots, r, r = 8$. b_j^*, b_j^{**} – предельные значения варьируемого параметра.

С учетом модели (1) – (7) и неравенств (8) и (9) математическая постановка задачи примет такой вид:

определить параметры b_e , где $e < r$ и оказывают, в среднем, существенное влияние на значения $\Phi(\bar{b})$;

на основе выделенных релевантных параметров определить такую область $G_0(\bar{b}) \subseteq G(\bar{b})$, что $\forall \bar{b}^0 \in G_0(\bar{b})$ и выполняется условие $|\Phi(\bar{b}^0) - \Phi^+| \leq \varepsilon$, где $0 < \varepsilon \ll 1$, Φ^+ – заранее известное или вычисленное в ходе эксперимента экстремальное значение $\Phi(\bar{b})$.

Задача решалась на основе разработанного в ИМАШ РАН метода планируемого ЛП-поиска (ПЛП-поиска) [5, 6], который объединяет стохастические модели, свойственные методу Монте-Карло, и планирование вычислительного эксперимента. При этом благодаря одновременной реализации идеи дискретного квазиравномерного по вероятности зондирования J – мерного пространства варьируемых параметров α_j ($j = 1, \dots, J$) и методологии планируемого математического эксперимента, с одной стороны, осуществляется глобальный квазиравномерный просмотр заданной области варьируемых параметров, а, с другой стороны, появляется возможность применить многие формальные оценки из математической статистики. Как указывалось в работе [7], в основание метода положена рандомизация расположения в области $G(\bar{\alpha})$ векторов $\bar{\alpha}$, рассчитываемых по ЛПт-сеткам [8], и которая воз-

можно благодаря тому, что весь вычислительный эксперимент производится сериями. В ПЛП-поиске на сегодняшний день можно варьировать одновременно значения до 51-го параметров ($J = 51$). Для рандомизации (случайного смешения уровней варьируемых параметров α_{ijk}) дискретного обзора $G(\bar{\alpha})$ могут быть использованы многие существующие таблицы равномерно распределенных по вероятности целых чисел. В ПЛП-поиске алгоритм рандомизации построен на использовании датчика псевдослучайных чисел q ($0 < q < 1$) из [8]. Рандомизация состоит в том, что для каждой h -ой серии экспериментов ($h = 1, \dots, H(i, j)$), где $H(i, j)$ – объем выборки из элементов для одного критерия Φ_{ijk} , вычисляется свой вектор случайных номеров строк $\vec{j}(j_{1h}, \dots, j_{\beta h})$ в таблице направляющих числителей (ТНЧ) по формуле $j_{\beta h} = [R * q] + 1$, а значения α_{ij} в h -ой серии рассчитываются с помощью линейного преобразования $\alpha_{ijh} = \alpha_{j^*} + q_{ij\beta h} \times \Delta\alpha_j$, где: $\Delta\alpha_j = \alpha_{j^{**}} - \alpha_{j^*}$, $\alpha_{j^{**}}$ и α_{j^*} – соответственно верхние и нижние границы области $G(\bar{\alpha})$; $\beta = 1, \dots, J$; R – любое целое число (в ПЛП-поиске $R = 51$); j – фиксированный номер варьируемого параметра; $i = 1, \dots, M(j)$ – номер уровня j -го параметра в h -й серии; $M(j)$ – число уровней, на которое разбивается j -ый параметр; в общем случае $j_{\beta h} \neq j$ (в чем и состоит одна из целей рандомизации). Данная процедура формирования планов вычислительного эксперимента на основе ПЛП-поиска реализована с помощью математического пакета MATLAB [9, 10].

Значения каждого параметра определялись по формуле $b_{ji} = b_j + (b_j^* - b_j^{**}) q_{ji}$, где q_{ji} – числа Соболя; i – номер проводимого эксперимента; j – номер компоненты вектора \bar{b} . Значимость параметров оценивалась по критерию Фишера [11]. По результатам машинных экспериментов проводилась статистическая обработка данных (таблица 1). При 5 %-ном уровне значимости параметры α , K , p_n , c_3 оказались значимыми.

Исходная область состояний $G(\bar{b})$ – следующие диапазоны изменения варьируемых параметров: c_1 , Н/м – $200 \cdot 10^5 - 400 \cdot 10^5$; c_2 , Н/м – $100 \cdot 10^5 - 200 \cdot 10^5$; c_3 , Н/м – $150 \cdot 10^5 - 300 \cdot 10^5$; m_3 , кг – $110 - 130$; K , кг/с м⁴ – $(0,12 - 1,0) \cdot 10^{11}$; α , % – $3 - 15$; $F_{тр}$, Н – $300 - 600$; p_n , Мпа – $3,5 - 5,0$.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки результатов машинных экспериментов

| Параметр | Степени свободы | | Значения критериев | |
|----------|-----------------|---------|--------------------|-----------|
| | ν_1 | ν_2 | расчетный | табличный |
| c_1 | 96 | 7 | 1,5 | 3,23 |
| c_2 | 7 | 96 | 2,1 | 2,2 |
| c_3 | 7 | 96 | 3,2 | 2,2 |
| m_3 | 96 | 7 | 2,1 | 3,23 |
| K | 7 | 96 | 3,9 | 2,2 |
| α | 7 | 96 | 23,5 | 2,2 |
| $F_{тр}$ | 96 | 7 | 2,95 | 3,23 |
| p_n | 7 | 96 | 2,6 | 2,2 |

С целью проверки полученного результата были проведены две серии контрольных экспериментов (10) и (11) при двух различных значениях незначимых параметров и одном и том же диапазоне измерения значимых параметров, выбранных из условия достижения величиной $\Phi(\bar{b})$ наибольших значений. Это следующие диапазоны.

$$\alpha \in (0,3, 0,094); K \in (0,56, 0,80) \text{ кг/с м}^4; p_n \in (3,6, 3,8) \text{ Мпа}; c_3 \in (2,5, 3) \cdot 10^7 \text{ Н/м};$$

$$m_{3,1}=162 \text{ кг}; F_1=506 \text{ Н}; c_{1,1}=3625 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; c_{2,1}=1062,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; \quad (10)$$

$$m_{3,2}=137 \text{ кг}; F_1=431 \text{ Н}; c_{1,2}=3375 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; c_{2,2}=1187,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}. \quad (11)$$

Для сопоставления показатели, характеризующие значения критерия $\Phi(\bar{b})$ в исходной области и в каждой из контрольных областей, сведены в таблице 2. Из сопоставления средних значений критерия $\Phi(\bar{b})$ следует, что в контрольных областях практически невозможно отыскать сочетания параметров, при которых произошло бы заклинивание. Далее видно, что при этом в контрольных областях существенно уменьшился разброс значений критерия $\Phi(\bar{b})$. Мы видим, что в контрольных областях максимальные значения Φ_{\max} не намного меньше найденного в исходной области (соответственно на 12 и 12,5 % меньше Φ_{\max} в исходной области).

Таблица 2 – Значения критериев $\Phi(\bar{b})$ в исходной и контрольных областях

| Показатель | Исходная область $\Phi(\bar{b})=96$ | Контрольная область | |
|--|-------------------------------------|---------------------|--------|
| | | (10) | (11) |
| $\bar{\Phi}_0$ | -51,25 | 141,30 | 141,32 |
| σ | 185 | 10,02 | 10,46 |
| Φ_{\max} | 192 | 161 | 158 |
| Φ_{\min} | -443 | 129,5 | 122,2 |
| $\Delta\Phi=(\Phi_{\max}-\Phi_{\min})$ | 635 | 31,5 | 35,8 |
| $\Delta\Phi/\sigma$ | 3,43 | 3,14 | 3,42 |

Важно также отметить, что в контрольных областях все показатели из таблицы 2 мало между собой отличаются, что подтверждает вывод о несущественном влиянии параметров $c_1, c_2, m_3, F_{тр}$ на значения $\Phi(\bar{b})$.

Уменьшение количества возможных параметров, влияющих на возникновение заклинивания, позволило сократить трудоемкости процедуры диагностирования и ремонта механизма. Опыт проведения наладочных и ремонтных работ показал, что среди значимых параметров наиболее часты отклонения за пределы допустимых значений параметра K , характеризующего качество работы стабилизатора скорости.

Учитывая трудоемкость проведения мероприятий, связанных с устранением причин заклинивания червячного зацепления, ремонтные работы целесообразно проводить в следующей последовательности: 1) отрегулировать давление в гидросистеме p_n так, чтобы $3,6 \text{ МПа} < p_n \leq 3,8 \text{ МПа}$; 2) привести значения K в соответствие с рекомендуемым диапазоном из (11) путем замены стабилизатора скорости; 3) установить значение α из рекомендуемого диапазона (10), устраняя воздух из гидросистемы; 4) установить жесткость фиксатора c_3 из диапазона (10) путем замены фиксатора.

Библиографический список

1. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем. Определение динамических характеристик и параметров. – Киев: Наукова думка, 1985. – 216 с.
2. Кононенко В.О., Плахтиенко Н.П. Методы идентификации механических нелинейных колебательных систем. - Киев: Наукова думка, 1976. – 116 с.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 288 с.
4. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов. – Л.: Машиностроение, 1972. – 324 с.
5. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Проблемы интеллектуальной обработки информации при решении задач проектирования и идентификации динамических систем // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2011. VIII Всероссийская научно-практическая конференция (Новокузнецк, 10-12 ноября 2011 г.) Труды. - Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2011. – С.45-51.

6. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Применение дискретных методов оптимизации в задачах проектирования устройств систем управления // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2013. IX Всероссийская научно-практическая конференция (с участием стран СНГ) (Новокузнецк, 28-30 ноября 2013 г.) Труды. - Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2013. – С.90-95.
7. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Интеллектуальная обработка результатов вычислительного эксперимента в задачах исследования и моделирования колебательных систем машин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2013. - № 2(4). - С.5-9.
8. Соболев И.М. Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1969. - 288 с.
9. И.Н. Статников, Г.И. Фирсов Об одной технологии дискретного зондирования пространства исследуемых параметров // Современные информационные технологии. - Пенза: Пензенская гос. технол. академия, 2004. - С.63-68.
10. И.Н. Статников, Г.И. Фирсов ППП-поиск и его реализация в среде MATLAB // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. - М.: ИПУ РАН, 2004. - С.398-411.
11. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит. 1971. - 576 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗА СЧЁТ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО СХЕМЕ «ОПЫТ-КОНКРЕТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ»

Калиногорский Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Известны примеры применения разнообразных методов планирования экспериментов для получения математических моделей: схемы полного и дробного факторного эксперимента [1], планы Плакетта-Бермана [2], планы Кифера и Кано [3], планы латинских и греко-латинских квадратов, квадратов Юдена [4], планы Бокса-Бенкена [5], планы Тагучи [6], D-, E-, G-оптимальных планы [7], планы Шеффе [8], Мак-Лина и Андерсона [9], Пипеля [10] для изучения свойств смесей и др. Эти методы планирования эксперимента ориентированы на комбинирование уровней поддержания факторов по разнообразным критериям оптимальности. При этом не осуществляется чёткая привязка условий проведения каждого опыта к задаче получения точной оценки конкретного параметра искомой математической модели. Следствием этого является избыточное количество опытов по отношению к минимально необходимому их числу, отсутствие необходимых для оценки параметров моделей опытов, получение неточных оценок параметров моделей и в целом снижение эффективности исследований.

Целью данной работы является рассмотрение универсальной методики формирования планов экспериментов и оптимизации режимов работы объектов, ориентированной на привязку условий проведения каждого опыта к задаче получения точной оценки конкретного параметра искомой математической модели.

При получении математической модели объекта исследования на основе экспериментальных данных модель чаще всего представляется в виде полинома - отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная функция – модель объекта [2]:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{u,j=1}^k \beta_{u,j} x_u x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \dots,$$

где k – количество исследуемых факторов;

y – выходная переменная;

x_j – факторы (входные переменные) ($j = 1, 2, \dots, k$);

$\beta_0, \beta_j, \beta_{u,j}, \beta_{jj}$ – истинные значения коэффициентов полинома ($u, j = 1, 2, \dots, k; u \neq j$).

После обработки экспериментальных данных получают так называемые выборочные коэффициенты $b_0, b_j, b_{u,j}, b_{jj}$, которые являются оценками истинных коэффициентов $\beta_0, \beta_j, \beta_{u,j}, \beta_{jj}$.

В качестве экспериментальных данных используют значения факторов и параметра оптимизации, полученные при реализации специального плана эксперимента в условиях действия неконтролируемых переменных. Для фильтрации влияния указанных неконтролируемых переменных проводят параллельные опыты и для расчётов коэффициентов искомой модели используют средние значения параметра оптимизации в каждой точке плана эксперимента.

Математическая модель, полученная на основании опытов, запишется следующим образом:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{u,j=1}^k b_{u,j} x_u x_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2 + \dots,$$

Коэффициент b_0 называют свободным членом уравнения, коэффициенты b_j – линейными эффектами, коэффициенты $b_{u,j}$ – эффектами парного взаимодействия, коэффициенты b_{jj} – квадратичными эффектами.

При создании методики формирования планов эксперимента и обработки результатов экспериментов с целью получения параметров математических моделей использовались методы решения систем линейных неоднородных алгебраических уравнений в сочетании с методами линеаризации зависимостей применительно к нелинейным моделям, а также алгебра матриц.

В работе предлагается для оценки коэффициентов математической модели использовать экспериментальные данные, полученные с помощью насыщенных планов эксперимента, в которых количество опытов равно числу оцениваемых коэффициентов искомой модели и условия всех опытов различаются.

Для получения единой формы представления планов эксперимента и упрощения процедур обработки результатов эксперимента целесообразно использовать кодированные значения факторов. Кодирование осуществляется с использованием соотношения:

$$x_j = \frac{X_j - X_{j,\min}}{X_{j,\max} - X_{j,\min}},$$

где x_j – кодированное значение j -го фактора в плане эксперимента;

X_j – значение j -го фактора в плане эксперимента в натуральной размерности;

$X_{j,\max}, X_{j,\min}$ – максимальное (верхний уровень) и минимальное (нижний уровень) значения фактора в плане эксперимента в натуральной размерности.

При этом, если фактор в плане эксперимента имеет минимальное значение, то его кодированное значение равно 0, а если максимальное значение, то 1.

Предлагаемые насыщенные планы эксперимента включают следующие виды опытов в зависимости от структуры искомой модели, выбранной исследователем:

Для оценки коэффициента b_0 . Опыт, в котором все факторы поддерживаются на нижнем уровне.

Для оценки линейных эффектов b_j , квадратичных эффектов b_{jj} и эффектов более высоких порядков. Опыты в количестве: $\sum_{j=1}^k n_j$, где n_j – количество эффектов j -го фактора в искомой модели объекта; k – количество факторов в плане эксперимента. При этом уровни поддержания фактора в каждом опыте должны различаться. Их целесообразно выбирать путём равномерного разброса экспериментальных точек по всему диапазону изменения фактора по правилу: $1/n_j, 2/n_j, \dots, 1$. Остальные факторы в этих опытах поддерживаются на нижнем уровне.

Для оценки эффектов парных взаимодействий факторов b_{uj} и взаимодействий, с включением большего числа факторов. Опыты, в которых факторы, входящие во взаимодействие, увеличиваются одновременно, а остальные факторы поддерживаются на нижнем уровне. Количество таких опытов равно числу взаимодействий, входящих в искомую модель.

При наличии ограничений на сочетание значений факторов опыты должны планироваться с учётом этих ограничений. Например, в задачах исследования влияния факторов, сумма которых равна фиксированной величине, действует ограничение на сочетание значений факторов: $\sum_{j=1}^k x_j = 1$, где x_j – доли отдельных факторов, входящих в сумму.

Имеется возможность построить планы эксперимента для таких объектов с оценкой линейных эффектов и эффектов взаимодействия факторов. Опыты для оценки линейных эффектов планируются указанным выше способом, а в опытах для оценки эффектов взаимодействия факторов все факторы, входящие во взаимодействие, поддерживаются на уровне $1/q$, где q – число факторов, входящих во взаимодействие. Факторы, не вошедшие во взаимодействие, в этих опытах поддерживаются на нижнем уровне.

Таким образом, предлагаемые планы эксперимента могут гибко дополняться опытами по указанным выше правилам с учётом результатов полученных на предыдущих этапах исследования. Например, при получении недостаточной точности модели исследователь может провести эксперименты, связанные с введением дополнительных факторов и соответствующих взаимодействий, изменением показателя степени, с которым фактор был введён в модель и т.д.

Для получения оценок коэффициентов искомым моделям используются расчётные соотношения, получаемые с использованием методов решения систем линейных неоднородных алгебраических уравнений в сочетании с методами линеаризации зависимостей применительно к нелинейным моделям. В матричной форме результат оценки искомым коэффициентов может быть записан в виде известного соотношения [11, стр. 426]:

$$B = X^{-1}Y. \quad (12)$$

Соответствующие расчёты коэффициентов можно выполнить с помощью специализированного программного обеспечения, например пакета MathCad.

В работе проведено сравнение результатов оценки линейных эффектов трёх факторов с помощью предлагаемого плана эксперимента и по плану дробного факторного эксперимента типа 2^{3-1} . Показана высокая точность оценок, полученных по предлагаемому плану эксперимента, а также существенное отличие от истинных значений оценок, полученных по плану дробного факторного эксперимента. Это связано с тем, что эти оценки являются суммой искомым линейных эффектов и эффектов взаимодействия факторов.

Разумеется, получение таких неточных оценок затрудняет сопоставление полученных результатов с теоретическими представлениями, сложившимися в конкретной предметной области, негативно сказывается на точности полученной модели, а также эффек-

тивности поиска оптимальных режимов работы объекта, например, по методу крутого восхождения Бокса-Уилсона. Схожие проблемы смешивания эффектов наблюдаются также, например, в планировании экспериментов при исследовании свойств смесей [8, 9].

Библиографический список

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий // Издание второе переработанное и дополненное. – М.: Издательство «Наука», 1976. – 279 с.
2. Ахназарова С.Л. Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учеб. пособие для химико-технологических вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. М. – Высш. школа, 1985. – 327 с., ил.
3. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. — М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт. – 2011. – 399 с.
4. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1967. – 406 с.
5. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с., ил.
6. Vahid Moosavi, Seyed Rashid Fallah Shamsi, Hamidreza Moradi, Bagher Shirmohammadi. Application of Taguchi method to satellite image fusion for object-oriented mapping of Barchan dunes [Electronic resource] // Geosciences. – 2014, Volume 18, Issue 1. P. – 45-59. URL: <http://link.springer.com>. (дата обращения: 11.03.2015 г.).
7. Математическая теория планирования эксперимента / Под ред. С.М. Ермакова. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 392 с.
8. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments / 8th Edition International Student Version, New York.: Wiley, 2012. – 752 P.
9. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
10. Piepel, G.F. Programs for generating extreme vertices and centroids of linearly constrained experimental regions // Journal of Quality Technology, 1988. – No. 20. – P. 125-139.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 831 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТДЕЛЕНИЙ РЕАНИМАЦИИ И ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ НОВОРОЖДЕННЫХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ РЕБЕНКА

Власенко А.Е., Ренге Л.В.

*МБУ ЗОТ «Кустовой медицинский информационно-аналитический центр»,
МБ ЛПУ «Зональный перинатальный центр»,
г. Новокузнецк, Россия*

Актуальность темы исследования: рост неонатальной заболеваемости и смертности, неоправданные потери жизнеспособных новорожденных требуют поиска новых форм организации перинатальной и неонатальной помощи, оптимизации качества профессиональной подготовки врачей, изучения причин наиболее распространенных патологий новорожденных и внедрения новых технологий на всех этапах медицинской помощи [2].

Материалы и методы: исследование проведено на персонифицированных базах данных Кустового медицинского информационно-аналитического центра «Рождаемость» и «Заболеваемость» населения г. Новокузнецка за 7 лет (2005 – 2011 гг.). Функции зависимости выходной величины от входных переменных построены с помощью метода логистической регрессии. Применены итерационный алгоритм оценки коэффициентов Ньютона-

Рафсона и метод определения статистической значимости влияния входной переменной на выходную величину с помощью статистики Вальда.

Полученные результаты: совершенствование неотложной помощи в неонатологии – важнейший фактор снижения заболеваемости и смертности новорожденных. Служба неотложной помощи новорожденным должна располагать высококвалифицированными специалистами, быть эффективно организованной и иметь современную аппаратуру.

В соответствии с приказом № 921н об утверждении порядка оказания медицинской помощи по профилю «неонатология» от 15 ноября 2012 г. для обеспечения круглосуточной работы отделения реанимации и интенсивной терапии для новорожденных необходимо предусмотреть 4,75 ставки врача-анестезиолога-реаниматолога на каждые 3 койки отделения. Кроме того, при проведении сердечно-легочной реанимации новорожденному, врачу-неонатологу необходима помощь не менее двух медицинских работников с высшим или со средним медицинским образованием. Имеющееся штатное расписание и финансовые возможности большинства акушерских стационаров не позволяют в полном объеме обеспечить эти требования. Ситуация осложняется тем, что задержка в предоставлении помощи может быть фатальной, проведение начальных реанимационных мероприятий должно начаться не позднее, чем через 20 секунд после рождения ребенка.

Для решения поставленной проблемы предложено оптимизировать работу отделений реанимации и интенсивной терапии новорожденных за счет целевого использования имеющихся ресурсов, а именно выделения среди всех рожениц, поступающих в стационар, группы высокого риска. Если женщина относится к данной группе, необходимо обеспечить обязательное присутствие реанимационной бригады во время родов. Остальные роды обеспечиваются реанимационными бригадами по мере возможности, исходя из имеющихся ресурсов учреждения.

Расчет группы риска осуществляется на всех этапах пребывания женщины в роддоме, начиная с приемного отделения, на основе данных обменной карты и заканчивая непосредственно родами, с учетом возникших осложнений. Группа риска каждой роженицы рассчитывается на основе модели формирования жизнеспособности новорожденного в период его внутриутробного развития в зависимости от медицинских осложнений беременности и родов и социально-демографических характеристик матери. Если рассчитанный по модели риск для новорожденного больше, либо равен 50 %, роженица относится к группе риска. Стоит отметить, что разработанная модель учитывает динамику развития осложнений во время беременности, что позволяет её использовать не только в роддоме, но и в женских консультациях, что обеспечивает возможность более раннего выявления и предотвращения нежелательных последствий для ребенка.

Жизнеспособность новорожденного описывается бинарной переменной (1 – отсутствует один или более признаков живорождения; 0 – наличие всех четырех признаков). К социально-демографическим факторам относят возраст, образование, наличие вредных привычек у женщины. К медицинским осложнениям беременности и родов относится ряд заболеваний и патологических состояний.

Зависимость вероятности наступления неблагоприятного события от входных факторов определяется логистической функцией (1).

$$P(\hat{Y}) = \left(1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_1 - b_2 \cdot x_2 - \dots - b_n \cdot x_n)\right)^{-1},$$

где $P(\hat{Y})$ – вероятность наступления неблагоприятного исхода;

b_0 – свободный член уравнения регрессии;

$b_1 \dots b_n$ – коэффициенты уравнения;

$x_1 \dots x_n$ – входные переменные;

n – количество входных переменных.

Процедура оценивания коэффициентов для уравнения 1 называется логистической

регрессий. Для оценки статистической значимости влияния каждой входной переменной на выходную величину рассчитывается показатель Вальда, если данный показатель больше критического значения, то влияние переменной на выходную величину статистически значимо.

Построение модели проводилось на основе информации баз данных о заболеваемости и рождаемости населения г. Новокузнецка за 2005 – 2011 гг. Всего было проанализировано 56797 записей, которые были разделены на обучающую выборку (45437 записей) и 5 контрольных (по 2272 записей в каждой).

В результате были рассчитаны коэффициенты модели формирования жизнеспособности ребенка на различных сроках беременности [1]. Ошибка прогноза составляет 13 % на обучающей и $14,1 \pm 0,23$ % на контрольных выборках.

На основе построенной модели разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитывать группу риска для беременной на различных этапах беременности, в том числе и в момент начала родовой деятельности.

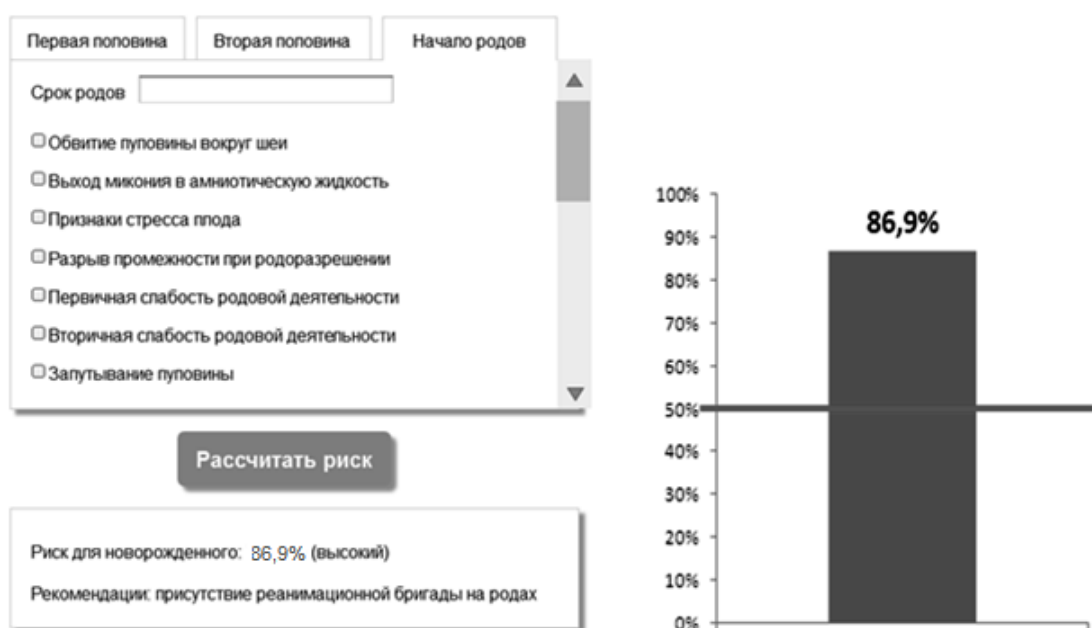


Рисунок 1 – Фрагмент экранной формы задания входных параметров и вывода результата моделирования

Выводы: для оптимизации работы отделений реанимации и интенсивной терапии новорожденных предложено использовать модель формирования жизнеспособности новорожденного, которая была разработана для различных сроков беременности. Использование данной модели позволит более рационально использовать имеющиеся ресурсы за счет выявления среди всех женщин, поступивших в стационар, рожениц группы риска, для которых необходимо обеспечить присутствие реанимационной бригады во время родов.

Библиографический список

1. Власенко А.Е., Жилина Н.М., Чеченин Г.И. Алгоритм прогнозирования состояния ребенка на момент рождения // Информатика и системы управления. – 2015. – №1 (43). – С. 63 – 71.
2. Кузнецова А.В. К 20-летию становления перинатологической службы в республике Татарстан // Казанский медицинский журнал. – 2010. – № 4 (91). – С. 566 – 569.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ Г. НОВОКУЗНЕЦКА ПО СТЕПЕНИ ПРОБЛЕМНОСТИ ИХ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Власенко А.Е., Климантова И.П.

МБУ ЗОТ «Кустовой медицинский информационно-аналитический центр»,
г. Новокузнецк, Россия

Актуальность темы исследования: процессы социально-экономического реформирования системы здравоохранения определяют необходимость оптимизации спроса, предложения и потребления медицинских услуг, рационального использования имеющихся ресурсов и выделяемого финансирования [1]. Рациональное использование ресурсов предполагает распределение их между лечебно-профилактическими учреждениями с учетом имеющихся в организациях проблем, с целью их эффективного решения. Для этого необходимо провести классификацию медицинских организаций по степени проблемности их основных показателей.

Материалы и методы: информация об оценке качества оказываемых услуг получена с сайта департамента охраны здоровья населения Кемеровской области [3]. Данные о средней заработной плате по учреждениям города получены с официального портала для размещения информации о государственных учреждениях [2]. Анализировались только те лечебно-профилактические учреждения, информация о которых представлена на указанных порталах. Для расчета показателя соответствия нормативам использовался критерий Фридмана, для расчёта показателя наличия тенденции – критерий Кендалла.

Полученные результаты. Были проанализированы два основных показателя лечебно-профилактических учреждений: показатель качества оказания услуг медицинскими организациями и средняя заработная плата. Показатель качества услуг является интегральным показателем, характеризующим медицинские организации с позиции потребителя (пациента), значение его лежит в диапазоне от 0 до 1. Рассчитывается на основе жалоб, анкетирования, социологических опросов населения. Показатель, представляющий наибольший интерес с позиции работников медицинской организации – это средняя заработная плата.

В таблице 1 представлен показатель качества услуг медицинских организаций за 2011 – 2013 гг., средняя заработная плата по лечебно-профилактическим учреждениям за 2012 – 2014 гг. и группа медицинской организации (устанавливается министерством здравоохранения исходя из мощности учреждения, кадрового состава и т.д.).

Степень проблемности лечебно-профилактических учреждений предложено оценивать на основе показателя «проблемности», который рассчитывается для каждой рассматриваемой характеристики (показателя качества услуг и средней по учреждению заработной платы).

Показатель «проблемности» состоит из двух частей: первая отражает степень соответствия рассматриваемой характеристики нормативам, вторая – наличие тенденции. Значения показателя «проблемности» лежат в диапазоне от 0 до 2, где 0 – проблем не выявлено; 2 – крайняя степень проблемы: наблюдается существенное отклонение признака от нормативов и статистически значимая тенденция к снижению на всем рассматриваемом периоде. Показатель «проблемности» рассчитывается по формуле (1).

$$I p_i = I p_i^{Norm} + I p_i^{Trend} , \quad (1)$$

где $I p_i$ – показатель «проблемности» для i -ой рассматриваемой характеристики,

$I p_i^{Norm}$ – показатель соответствия нормативам;

$I p_i^{Trend}$ – показатель наличия тенденции.

Таблица 1 – Показатель качества услуг и средняя заработная плата в ЛПУ г. Новокузнецка

| Наименование организации | Группа | Средняя зарплата (рублей) | | | Показатель качества | | |
|--|--------|---------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Общая врачебная практика № 1 | 7 | 19350 | 21670 | 26137 | 0,900 | 0,676 | 0,747 |
| Городская клиническая больница № 2 | 4 | 19760 | 23739 | 26948 | 0,889 | 0,840 | 0,851 |
| Новокузнецкая клиническая психиатрическая больница | 3 | 19140 | 20794 | 21522 | 0,875 | 0,874 | 0,887 |
| Городская инфекционная больница № 8 | 5 | 18993 | 19634 | 21296 | 0,940 | 0,726 | 0,802 |
| Детская городская клиническая больница № 4 | 6 | 25125 | 27555 | 28993 | 0,942 | 0,879 | 0,880 |
| Городская больница № 22 | 4 | 19304 | 14982 | 16454 | 0,929 | 0,793 | 0,882 |
| Новокузнецкий наркологический диспансер | 3 | 24466 | 24745 | 24608 | 0,797 | 0,786 | 0,829 |
| Зональный перинатальный центр | 6 | 21701 | 24369 | 24691 | 0,881 | 0,941 | 0,866 |
| Новокузнецкий клинический онкологический диспансер | 2 | 33534 | 36069 | 35771 | 0,861 | 0,712 | 0,828 |
| Новокузнецкий клинический кожно-венерологический диспансер | 3 | 17682 | 18358 | 19414 | 0,869 | 0,856 | 0,855 |
| Городская клиническая больница № 29 | 2 | 22542 | 24638 | 26426 | 0,955 | 0,856 | 0,912 |

Показатель соответствия нормативам рассчитывается на основе критерия Фридмана – непараметрического аналога дисперсионного анализа.

$$I_{p_i}^{Norm} = \begin{cases} \frac{\overline{\chi_{r(i)}^2} - \chi_{r(kr)}^2}{N - \chi_{r(kr)}^2}, \text{ если } \overline{\chi_{r(i)}^2} \geq \chi_{r(kr)}^2 \\ 0, \text{ если } \overline{\chi_{r(i)}^2} < \chi_{r(kr)}^2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\overline{\chi_{r(i)}^2} = \begin{cases} \chi_{r(i)}^2, \text{ если } Me_i < Me_{norma(i)} \\ 0, \text{ если } Me_i \geq Me_{norma(i)} \end{cases}, \quad (3)$$

где $I_{p_i}^{Norm}$ – показатель соответствия нормативам;
 $\overline{\chi_{r(i)}^2}$ – скорректированный критерий Фридмана;
 N – длительность анализируемого периода (в данном случае 3 года);
 $\chi_{r(kr)}^2$ – критическое значение критерия Фридман (при $N=3$ равно 2,92);
 $\chi_{r(i)}^2$ – критерий Фридмана;
 Me_i – медиана исследуемого показателя за анализируемый период;

Me_{norma} – медиана нормы показателя за анализируемый период.

Показатель соответствия нормативам лежит в диапазоне 0 до 1, где 0 – рассматриваемая характеристика полностью соответствует нормативам, 1 – характеристика ниже нормативных значений на всем анализируемом периоде.

В качестве нормативных значений для уровня заработной платы используются средние значения по рассматриваемым учреждениям: 2012 г. – 21963 рубля, 2013 г. – 23323 рубля, 2014 г. – 24750 рублей. В качестве нормативных значений для показателя качества оказываемых услуг используется среднее значение показателя по группе учреждений (таблица 2).

Таблица 2 – Среднее значение показателя качества по группе медицинских учреждений

| Группа ЛПУ | 2011 | 2012 | 2013 |
|------------|--------|--------|--------|
| 2 | 0,9391 | 0,8694 | 0,8932 |
| 3 | 0,8904 | 0,8542 | 0,8486 |
| 4 | 0,8826 | 0,8329 | 0,8411 |
| 5 | 0,9144 | 0,8191 | 0,8181 |
| 6 | 0,9033 | 0,8543 | 0,8438 |
| 7 | 0,8729 | 0,8024 | 0,7619 |

Показатель наличия тенденции рассчитывается на основе непараметрического критерия Кендалла по формулам (4) – (5).

$$Ip_i^{Trend} = \begin{cases} \bar{\tau}_i, & \text{если } \bar{\tau}_i \geq \tau_{kr} \\ 0, & \text{если } \bar{\tau}_i < \tau_{kr} \end{cases}, \quad (4)$$

$$\bar{\tau}_i = \begin{cases} \tau_i, & \text{если } \tau_i < 0 \\ 0, & \text{если } \tau_i \geq 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где Ip_i^{Trend} – показатель наличия тенденции;

$\bar{\tau}_i$ – скорректированный критерий Кендалла;

τ_i – критерий Кендалла;

τ_{kr} – критическое значение критерия Кендалла (при $N=3$ равно 0,95).

Показатель наличия тенденции лежит в диапазоне от 0 до 1, где 0 – тенденция к снижению отсутствует, 1 – анализируемая характеристика снижается на всем анализируемом периоде.

Полученные значения показателя «проблемности» (Ip_i) и его составляющие (индекс соответствия нормативам – Ip_i^{Norm} и индекс наличия тенденции – Ip_i^{Trend}), рассчитанные для лечебно-профилактических учреждений города Новокузнецка, представлены в таблице 3.

На основе данных таблицы 3 лечебно-профилактические учреждения города можно классифицировать следующим образом. Наиболее проблемным учреждением является «Новокузнецкий клинический кожно-венерологический диспансер». В данном учреждении наблюдаются проблемы с заработной платой, она стабильно ниже среднего значения по городу, и проблемы с качеством оказываемых услуг – наблюдается снижение показателя оценки качества на протяжении всего анализируемого периода.

К учреждениям, имеющим проблемы с уровнем заработной платы также относятся: «Новокузнецкая клиническая психиатрическая больница», «Городская инфекционная больница № 8» и «Городская больница № 22». Во всех этих учреждениях уровень заработной платы

платы ниже среднего по городу на всем анализируемом периоде.

К учреждениям, имеющим проблемы с качеством оказываемых услуг относятся: «Новокузнецкий наркологический диспансер» и «Новокузнецкий клинический онкологический диспансер». Показатель оценки качества оказываемых услуг в этих учреждениях ниже, чем в среднем по группе, на всем анализируемом периоде.

Таблица 3 – Значения показателя «проблемности», рассчитанного по средней заработной плате и показателю качества оказываемых услуг, для ЛПУ г. Новокузнецка

| Наименование организации | Средняя зарплата | | | Показатель качества услуг | | |
|--|------------------|----------------|--------|---------------------------|----------------|--------|
| | Ip_i^{Norm} | Ip_i^{Trend} | Ip_i | Ip_i^{Norm} | Ip_i^{Trend} | Ip_i |
| Общая врачебная практика №1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Городская клиническая больница №2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Новокузнецкая клиническая психиатрическая больница | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Городская инфекционная больница №8 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Детская городская клиническая больница №4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Городская больница №22 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Новокузнецкий наркологический диспансер | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Зональный перинатальный центр | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Новокузнецкий клинический онкологический диспансер | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Новокузнецкий клинический кожно-венерологический диспансер | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Городская клиническая больница №29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Выводы: в целях рационального использования ресурсов была проведена классификация лечебно-профилактических учреждений г. Новокузнецка по степени проблемности их основных показателей. В результате были выявлены учреждения, имеющие проблемы со средним уровнем заработной платы («Новокузнецкий клинический кожно-венерологический диспансер», «Новокузнецкая клиническая психиатрическая больница», «Городская инфекционная больница № 8» и «Городская больница № 22») и учреждения, имеющие проблемы с качеством оказываемых услуг («Новокузнецкий клинический кожно-венерологический диспансер», «Новокузнецкий наркологический диспансер» и «Новокузнецкий клинический онкологический диспансер»).

Библиографический список

1. Артамонова Г.В. Система непрерывного повышения качества медицинской помощи на региональном уровне. – Кемерово: ИнСЭПЗ, 1999. – 141 с.
2. Официальный сайт для размещения информации о государственных (муниципальных) учреждениях URL: <http://bus.gov.ru/pub/home> (дата обращения: 03.09.2015).
3. Рейтинг медицинских организаций Кемеровской области по результатам оценки эффективности // Сайт департамента охраны здоровья населения Кемеровской области URL: <http://www.kuzdrav.ru/drupal/node/2125> (дата обращения: 02.09.2015).

ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗДОРОВЬЯ РАБОТАЮЩИХ Г. НОВОКУЗНЕЦКА*

Жилина Н.М.

ГБОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей»
Министерства здравоохранения РФ,
г. Новокузнецк, Россия

Актуальность. Формирование и реализация социальной программы по охране здоровья трудящихся становятся особенно актуальными на фоне проблем, возникших в течение девяностых лет прошлого века и начале нынешнего в Российской Федерации в условиях социально-экономических реформ. В первую очередь эти проблемы связаны с резким ухудшением медико-демографической ситуации, вылившимся, по существу, в депопуляцию населения. Снижение рождаемости, рост смертности по всем определяющим классам причин, резкий рост преждевременной смертности, высокая смертность трудоспособного населения от неестественных причин, снижение средней продолжительности предстоящей жизни привели, в конечном итоге, к дефициту трудового потенциала [1].

Здоровье трудящегося населения – комплексный социально-гигиенический и экономический показатель, который интегрирует биологические, демографические и социальные процессы, свойственные человеческому обществу, отражает уровень его экономического и культурного развития, состояние медицинской помощи, находясь в то же время под воздействием традиций, исторических, этнографических и природно-климатических условий общества.

Кемеровская область является регионом с развитой химической, горной угледобывающей промышленностью. В г. Новокузнецке и вблизи города расположено большое количество угледобывающих шахт, также имеется 2 «гиганта» металлургической промышленности – «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЗСМК) и «Новокузнецкий металлургический комбинат» (НКМК), объединенных в настоящее время в единый комплекс, функционируют алюминиевый, химический заводы и т.д. Большинство трудящегося населения города работает на вышеперечисленных предприятиях тяжелой промышленности и, следовательно, вопрос о сохранении здоровья трудящихся является достаточно актуальным и требует детального изучения.

Материалы и методы. Анализ проводился на основе информации выходных форм автоматизированной информационной системы «Состояние здоровья трудящихся» (АИС «СЗТ»), а также нормативно-справочного фонда Кустового медицинского информационно-аналитического центра (КМИАЦ). Система является одной из составляющих социально-гигиенического мониторинга среды обитания и здоровья населения г. Новокузнецка [2] поддерживается в актуальном состоянии в КМИАЦ города Новокузнецка. База данных (БД) расчетных показателей о состоянии здоровья трудящихся [3] сформирована на основе персонифицированной информации из первичных БД КМИАЦ: «Заболеваемость», «Диспансеризация», «Смертность», «Инвалидизация», «Стационар», «Временная нетрудоспособность» (формы 025, 030, 028, 024, 066, 016 соответственно), которые прошли Государственную регистрацию в Научно-техническом центре «Информрегистр» Федерального агентства по информационным технологиям (Государственная регистрация от 19 июля 2007 года).

Сведения о структуре населения г. Новокузнецка получены из Территориального

* Автор благодарит директора МБУЗ ОТ «Кустовой медицинский информационно-аналитический центр» к.м.н. Махова В.А. за представление выходной информации автоматизированной системы «Состояние здоровья трудящихся» за 2014 г., включающей фактические и интегрированные значения показателей здоровья работающих граждан г. Новокузнецка.

отдела государственной статистики (ТОГС).

Для сравнительного анализа данные о состоянии здоровья трудящихся г. Новокузнецка за семь лет (2008 – 2014 гг.) были переведены в формат IBM SPSS Statistics (версия 19.0). Статистические критерии χ^2 для анализа качественных признаков в нескольких независимых группах; z-критерий для анализа порядковых признаков в двух несвязных группах, ранговая корреляция Спирмена для исследования связи порядковых признаков, критерий тау Кендалла для проверки значимости тренда признаков в динамике, критерий Уилкоксона для сравнения среднего возраста смерти у работающих мужчин и женщин в динамике, а также описательные статистики вычислены с помощью лицензионных статистических пакетов IBM SPSS Statistics (версия 19.0), Биостат (версия 4.03). Различие признаков в группах сравнения считалось значимым при уровне значимости различия $p < 0.05$. Среднегодовые значения показателей (M) приводятся со стандартным отклонением (σ).

Результаты исследования. Здоровье трудящихся г. Новокузнецка оценивается с помощью интегрального показателя – индекса здоровья (ИЗ), который включает в себя показатели общей заболеваемости (поликлинической и госпитальной), временной нетрудоспособности, диспансеризации, инвалидизации и смертности работающих, а также показатели демографической нагрузки на работающее население.

В таблице 1 приведено соответствие значений индекса здоровья (ИЗ) трудящихся лингвистическим переменным, оценивающим уровень здоровья [4].

На рисунке 1 представлены показатели индекса здоровья работающего населения г. Новокузнецка за период 2008 – 2014 гг.

Таблица 1 – Лингвистическая шкала индекса здоровья трудящихся

| Значение ИЗ | Лингвистическая оценка |
|-------------|-----------------------------|
| 0.75 – 1.00 | Приемлемый уровень здоровья |
| 0.51 – 0.74 | Удовлетворительный |
| 0.26 – 0.50 | Низкий уровень здоровья |
| 0.00 – 0.25 | Крайне низкий |

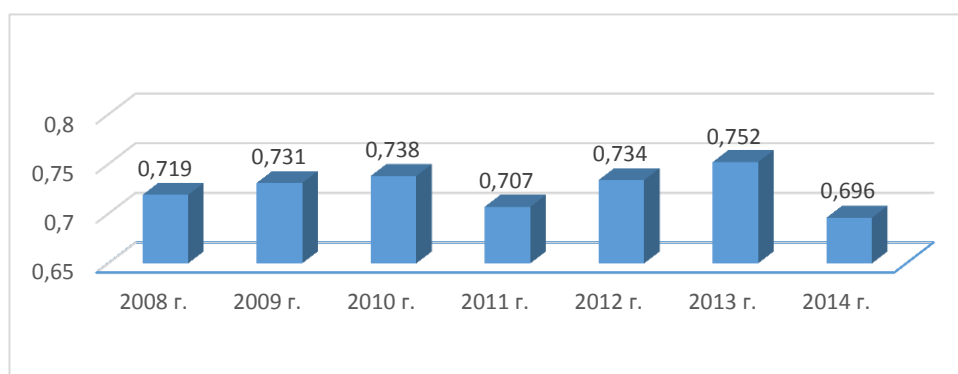


Рисунок 1 – Индекс оценки состояния здоровья работающего населения г. Новокузнецка (по городу) в 2008 – 2014 гг.

Индекс оценки состояния здоровья работающего населения г. Новокузнецка в 2014 году снизился с приемлемого уровня до удовлетворительного (0.696). Это самое неблагоприятное значение показателя за последние семь лет.

За период 2008 – 2013 гг. численность всего населения г. Новокузнецка сократилась на 2,3 % с 562,2 до 549,2 тыс. человек. При этом число жителей трудоспособного возраста уменьшилось на 8,1 % (с 360,4 до 331,8 тысяч). По данным ТОГС численность работающих г. Новокузнецка в 2013 г. по сравнению с 2009 уменьшилась на 14,3 тыс. и составляет в

2013 г. 284290 человек.

Численность мужчин трудоспособного возраста снизилась за исследуемый период со 178,1 до 166,2 тысяч, то есть на 6,7 %. Сокращение числа женщин трудоспособного возраста выражено еще более ярко – со 182,3 до 165,6 тысяч, то есть на 9,2 %.

До 2012 г. численность женщин трудоспособного превышала численность трудоспособных мужчин, в 2013 году после равенства в 2012 г. трудоспособных женщин (165,6 тыс.) в Новокузнецке стало несколько меньше, чем мужчин (166,2 тыс. человек).

Численность работающих г. Новокузнецка в 2013 г. по сравнению с 2009 уменьшилась на 14,3 тыс. человек и составляет в 2013 г. 284290 трудящихся.

Процент трудоспособного населения г. Новокузнецка, занятого в экономике в 2014 году увеличился до 87,8 %, самое лучшее значение за последние семь лет. Индекс данного показателя равен 0.92, что соответствует приемлемому уровню по лингвистической шкале.

Нагрузка неработающего населения на одного работающего в т.ч. детей в 2014 г. уменьшилась с 1.01 в 2011 г. до 0,91, то есть в 2014 г. на 100 работающих приходится 91 неработающий житель города. Индекс данного показателя с 2009 года улучшился с 0,89 до 0.99 в 2014 г., и соответствует приемлемому уровню по лингвистической шкале оценки показателей.

С 2008 по 2014 год несколько растут показатели заболеваемости трудящихся по обращаемости в лечебно-профилактические учреждения, с 2010 г. зарегистрирован рост болезненности и заболеваемости, а также травматизма работающих.

К позитивному фактору следует отнести снижение хронической заболеваемости. В 2013 и 2014 гг. показатель хронической заболеваемости на 1000 работающих статистически значимо ниже показателя первичной заболеваемости ($z=14,6$ в 2013 г., $z=18,5$ в 2014 г., $p<0,001$).

В 2014 г. зафиксировано 1054,6 тыс. посещений по заболеванию работающими г. Новокузнецка медицинских специалистов, что на 0,8% меньше, чем в 2013 году. Наибольший процент посещаемости работающими медицинских специалистов зарегистрирован у терапевта (34,3%), гинеколога (13,9%), хирурга (9,7%).

В динамике с 2008 года снижение числа посещений работающими медицинских специалистов выявлено для всех специалистов кроме хирургов. Наибольшее снижение числа посещений за 2014 год по сравнению с предыдущим зарегистрировано у офтальмологов (темп прироста -21,0), эндокринологов (-11,3), неврологов (-7,6). С 2008 по 2014 г. число посещений работающими г. Новокузнецка неврологов снизилось со 102.0 до 72,1 тыс. посещений (на 29,3 %).

За период 2008 – 2014 гг. выявлена статистически значимая ($p<0,001$) тенденция к снижению для следующих показателей временной нетрудоспособности работающих: число случаев нетрудоспособности на 100 работающих (снижение с 35 до 19.4 случаев), число дней нетрудоспособности на 100 работающих (уменьшение с 533 до 285,7); количество неработающих в день по причине нетрудоспособности снизилось с 4700 до 2400 человек. Связь по методу корреляции Тау Кендалла обратная, функциональная $\tau=-1,0$.

Количество работающих, состоящих на диспансерном учете по хроническому заболеванию в 2014 году уменьшилось на 357 человек, по сравнению с 2013 годом (темп прироста – 1,06) и составило 33 397 человек. Индекс показателя равен 1.00, что соответствует приемлемому уровню.

Отмечается рост относительного показателя диспансеризации со значения 103,3 в 2008 г. до 116,0 в 2014 г., изменение является статистически значимым: $z=2,9$; $p=0,003$. Колебания ежегодных значений не позволяют выявить значимую тенденцию в динамике показателя: $\tau=0,52$, $p=0,099$.

Большинство трудящихся г. Новокузнецка, состоящих на диспансерном учете по хроническому заболеванию, находятся под наблюдением: терапевта ($69.8\pm 2.0\%$), гинеколога ($14.7\pm 1.4\%$), эндокринолога ($3.3\pm 0.2\%$).

В динамике абсолютное число и процент в структуре хронических диспансерных больных значительно увеличивается у специалистов-офтальмологов ($\tau=0,8$, $p=0,017$), снижается у хирургов ($\tau=-0,9$, $p=0,023$) и эндокринологов ($\tau=-0,8$, $p=0,015$).

При росте числа посещений по заболеваниям работающими за период 2008 – 2014 гг. хирурга с 63,7 до 102,7 тысяч сокращается соответствующий показатель диспансеризации. Связь признаков обратно пропорциональна, статистически значима, коэффициент корреляции Спирмена $r=-1,0$, $p<0,001$;

При снижении за период 2008 – 2014 гг. числа посещений по заболеванию работающими офтальмолога с 57,0 до 38,8 тысяч значительно растет соответствующий показатель диспансеризации хронических больных. Связь признаков обратно пропорциональна, статистически значима: $r=-0,9$, $p=0,003$;

Снижается за исследуемый период число посещений работающими женщинами гинеколога по заболеванию. В 2013 году зарегистрирован рост числа диспансерных больных по гинекологическим хроническим заболеваниям. Что в очередной раз подтверждает важность профилактики и своевременного лечения заболеваний.

Из общего числа госпитализированных жителей г. Новокузнецка в 2008 году 56027 случая (32,3 %) составляют госпитализации среди работающего населения. В 2014 году данная цифра снижается до 40566 случаев и составляет 27,5 % от всех случаев госпитализации. В динамике ситуация за четыре последних года имеет тенденцию к снижению показателя госпитализации как среди всего населения, так и среди трудящихся.

До 2014 г. снижается процент госпитализированных работающих по направлению амбулаторно поликлинической службы, с 42,7 % в 2008 г. до 30,1 % – в 2013 году. В 2013 году он имеет самый низкий обобщенный индекс среди всех показателей здоровья трудящихся Новокузнецка (0,38). В 2014 г. отмечен рост показателя до 36 %.

Можно сделать вывод о значимом снижении количественных показателей госпитализации работающих. При этом ухудшается и ряд качественных показателей госпитализации, например, процент госпитализированных по направлению поликлиник, имеющий устойчивую тенденцию к снижению до 2013 года. По некоторым индикаторам выявлены позитивные тенденции, к ним относится рост показателей выбывших работающих с выздоровлением, некоторое снижение доли экстренных больных и повторных госпитализаций, а также снижение процента выбывших с ухудшением состояния.

Всего за период 2008 – 2014 гг. освидетельствовано на инвалидность в среднем в год 2635 ± 668 работающих, из них признано инвалидами ежегодно 2582 ± 665 .

В динамике фактические показатели инвалидности работающих статистически значимо снижаются, кроме показателя признано инвалидами первой группы. Значимое снижение доли инвалидов по второй группе инвалидности и значимый рост доли наиболее тяжелой первой группы свидетельствует об утяжелении инвалидности среди работающих г. Новокузнецка.

Самое неблагоприятное значение обобщенного индекса имеют показатели признанных инвалидами 1 группы (0,47) и первичной инвалидизации работающих (0,9).

Показатель общей инвалидизации (на 10 000 работающих) в 2014 году составил 61,4 %, имеет тенденцию снижения за последние семь лет (в 2008 г. – 127,0 %. Индекс данного показателя (1,00) находится по лингвистической оценке на приемлемом уровне.

Показатель первичной инвалидизации (на 10000 работающих) также снижается с 59,0 % в 2008 году до 33,4 % в 2014 г.

Более половины освидетельствованных работающих (в среднем за семь лет $60,5\pm 5,9$ %) получили третью группу инвалидности. В динамике за период 2009 – 2014 гг. данный показатель увеличился с 51,7 до 69,3 %, рост статистически значим: $z=12,3$; $p<0,001$. Тенденция также статистически значима: $\tau=0,7$, $p=0,024$.

Основной причиной инвалидности работающих является общее заболевание. В среднем за год по этой причине признано инвалидами $92,4\pm 2,1$ % работающих, освидетельствованных на МСЭК. Ежегодно регистрируется $0,6\pm 0,4$ % случаев инвалидности по при-

чине профессиональное заболевание. В $1,8 \pm 0,7$ % случаев инвалидность работающим дана в результате трудового увечья. Среднегодовой коэффициент тяжести инвалидизации работающих составляет $1,4 \pm 0,05$ %, в динамике стабилен.

В 2014 г. в Новокузнецке умерло всего работающих 359 человек, из них 288 (80,2 %) мужчин и 71 (19,8 %) женщина. В динамике 2008 – 2014 гг. число случаев смерти трудящихся г. Новокузнецка снизилось с 636 случаев смерти в 2008 г. до 359 в 2014-ом году.

За исследуемый период среди работающих на 10 умерших женщин ежегодно приходится от 33 до 44 умерших мужчин.

В сравнении 2008 и 2014 г. выявлено статистически значимое снижение показателя общей смертности работающих от 2,15 до 1,25 на 1000 работающих: $z=16,9$, $p<0,001$.

Положительные статистически значимые тенденции выявлены по показателям «смертность работающих по причине болезней органов дыхания»: $\tau=-0,7$, $p=0,039$; «умерло от несчастных случаев на производстве»: $\tau=-0,7$, $p=0,033$; «средний возраст умерших работающих женщин»: $\tau=0,8$, $p=0,011$.

От заболеваний умирает ежегодно $207 \pm 61,3$ работающих, от травм и отравлений $184 \pm 33,2$, от несчастных случаев на производстве – $23 \pm 6,6$, от самоубийств среди работающих $32 \pm 6,4$ случаев смерти в год.

По причинам смерти от заболеваний на первом месте – болезни системы кровообращения, ежегодно умирает $114 \pm 25,8$ работающих, от ишемической болезни сердца (ИБС) – $68 \pm 10,2$, от злокачественных новообразований – $63 \pm 14,1$.

Средний возраст умерших работающих составляет $46,0 \pm 0,9$ лет за рассматриваемый период. При этом средний возраст умерших мужчин составляет в среднем за пять лет – $45,2 \pm 0,9$ лет, а умерших женщин – $48,8 \pm 1,7$ лет. Таким образом, работающие мужчины умирают в более молодом возрасте, чем женщины. Различие среднего возраста смерти в группах работающих мужчин и женщин в динамике 2008 – 2014 гг. проверено с помощью критерия Уилкоксона, получено статистически значимое различие: $z=-2,4$; $p=0,018$.

Самые низкие обобщенные индексы состояния здоровья: 0,45 – показатель процент госпитализации работающих, направленных поликлиникой, 0,47 – процент инвалидов первой группы. Неблагополучны показатели: процент работающих, состоящих на диспансерном учете у уролога (индекс 0,60), заболеваемость на 1000 работающих (0,64), средний возраст умерших работающих мужчин (0,84).

Корреляционный анализ основных показателей состояния здоровья трудящихся г. Новокузнецка за 2008 – 2014 гг. по методу ранговой корреляции Спирмена выявил прямую сильную связь между показателем диспансеризации на 1000 работающих и процентом первой группы инвалидности среди освидетельствованных трудящихся: $r=0,9$, $p=0,003$ (тенденция показателей – возрастающая).

Сильные обратные связи получены между показателем процент первой группы инвалидности и признаками: количество случаев нетрудоспособности на 100 работающих, показателями общей и первичной инвалидизации ($r=-0,8$, $p=0,023$), процентом направленных на госпитализацию амбулаторно-поликлинической службой ($r=-0,7$, $p=0,036$).

Выявлена сильная обратная корреляционная связь между числом развернутых больничных коек и показателем больничной летальности: коэффициент корреляции Спирмена $r=-0,81$; уровень значимости $p=0,008$. То есть с уменьшением числа развернутых коек в стационарах города в последние годы растет процент умерших в стационаре.

Получена сильнейшая обратная связь между состоянием условий труда и долей первой (самой тяжелой) группы инвалидности среди работающих: коэффициент корреляции Спирмена $r=-1,0$; уровень значимости $p<0,001$. То есть, чем хуже условия труда, тем выше доля инвалидов первой группы среди работающих.

Заключение. По ситуации в целом можно сказать, что за период 2008-2014гг. происходит снижение показателей временной нетрудоспособности, хронической заболеваемости, инвалидизации, смертности трудящихся г. Новокузнецка. В то же время среди работающих

г. Новокузнецка время выявлен рост показателей заболеваемости по обращаемости, диспансеризации по хроническим заболеваниям, рост доли первой (наиболее тяжелой) группы инвалидности, увеличение числа повторных госпитализаций трудящихся, очень низкий процент госпитализированных по направлению амбулаторно-поликлинической службы, достаточно высокий процент суицидов.

По результатам исследования можно сделать вывод о существовании закономерных связей между состоянием здоровья работающих, условиями труда и некоторыми показателями деятельности здравоохранения. То есть, необходимы комплексные меры на уровне государственного, регионального и городского управления по улучшению существующей ситуации.

Библиографический список

1. Новости охраны труда <http://www.znakcomplect.ru/news/example> – Главная (дата обращения 1.09.2010г.)
2. Концептуальные и организационно-методические подходы к созданию социально-гигиенического мониторинга здоровья населения и среды обитания как инструмента принятия научно обоснованных решений / Чеченин Г.И., Жилина Н.М., Сапрыкина Т.В., Нетяга Т.Г., Рузаев Ю.В., Козлова Н.А. // Врач и информационные технологии. 2004. №6. С. 20 – 31.
3. Чеченин Г.И. Автоматизированная информационная система «Мониторинг состояния здоровья трудящихся» / Г.И. Чеченин, Н.М. Жилина, В.А. Юнусова, Н.М. Рычагова // Пусковой комплекс – 2008., 27 с.
4. Жилина Н.М. Алгоритм интеграции показателей в применении к автоматизированной информационной системе социально-гигиенического мониторинга // Информатика и системы управления. 2009 № 4(22). – С.150 – 152.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ТРУДЯЩИХСЯ КРУПНЕЙШИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ СИБИРИ

Часовников К.В., Жилина Н.М., Чеченин Г.И.

*ГБОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей»
Министерства здравоохранения РФ,
г. Новокузнецк, Россия*

Новокузнецк – крупнейший промышленный город Кемеровской области, основанный в 1618 году. Начиная с 30-х годов двадцатого века развивается как современный индустриальный центр Западной Сибири. Черная металлургическая промышленность представлена двумя крупнейшими металлургическими комбинатами – Кузнецким металлургическим комбинатом (КМК) и Западно-Сибирским металлургическим комбинатом (ЗСМК), которые в 2010 году вошли в единый холдинг – «Холдинг Евраз – Западно-Сибирский металлургический комбинат объединенный».

В 1970 году на двух комбинатах работало более восьмидесяти тысяч работающих. В настоящее время – менее двадцати тысяч, сокращение более чем в 4 раза. Кузнецкий металлургический комбинат основан гораздо раньше ЗСМК и был до 2010 года менее современным металлургическим производством. Трудящиеся обслуживались в медико-санитарной части КМК (поликлинике КМК). Западно-Сибирский металлургический комбинат – более молодое и современной производство. Его трудящиеся получали медицинское обслуживание в медико-санитарной части городской клинической больницы № 29, которая включала в себя не только поликлинику, но и стационар на 1200 коек. С точки зрения модернизации производства в настоящий момент комбинат представляет флагман металлургической промышленности, где используются современные системы очистки, передовые технологии,

международная система экологической безопасности. Изучение заболеваемости металлургов является актуальным [1 – 3].

Материалы и методы. Состояние здоровья металлургов г. Новокузнецка исследуется с помощью показателей заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) по данным официальной отчетности (форма 16ВН) более чем за четыре десятка лет. Значимость тенденции показателей оценивается помощью критерия тау Кендалла (τ), различия показателей по предприятиям в динамике проверены с помощью критерия Уилкоксона (z). В качестве инструмента построения базы данных и проведения статистического анализа выбран лицензионный пакет *IBM SPSS Statistics 19*. Различия считаются значимыми при уровне значимости различия $p < 0,05$.

Цель исследования: изучить состояние здоровья металлургов крупного промышленного города Сибири по данным о заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Решены следующие задачи:

– Проведено сравнение особенностей металлургического производства на примере Кузнецкого металлургического комбината (КМК) и Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК).

– Собран материал по основным показателям ЗВУТ на КМК и ЗСМК за период 1970-2010 гг.

– Проведен анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности более чем за 40 летний период (с 1970 по 2010 г.).

– Выявлены тенденции в заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Основные результаты исследования. Распределение показателей заболеваемости с временной утратой трудоспособности среди металлургов КМК и ЗСМК за период с 1970 по 2010 годы (в случаях, в днях, средняя длительность одного случая) представлено на рисунках 1 – 3.

Сравнение значимости различия признаков в динамике за 41 год по КМК И ЗСМК проведено с помощью критерия знаковых рангов Уилкоксона. По всем признакам выявлены значимые различия: для признака «среднее число случаев ЗВУТ на 100 работающих» $z = -5,6$, $p < 0,001$; для признака «среднее число дней ЗВУТ на 100 работающих» $z = -5,6$, $p < 0,001$; «средняя длительность случая ЗВУТ» $z = -5,2$, $p < 0,001$. То есть показатели заболеваемости с ВУТ на КМК *значимо выше* на протяжении всего рассматриваемого периода.

В результате анализа тенденции показателей выявлено, что как на ЗСМК, так и на КМК существует значимый ($p < 0,001$) тренд к росту показателя *средней длительности случая* нетрудоспособности, соответственно $\tau_{ЗСМК} = 0,701$ и $\tau_{КМК} = 0,654$.

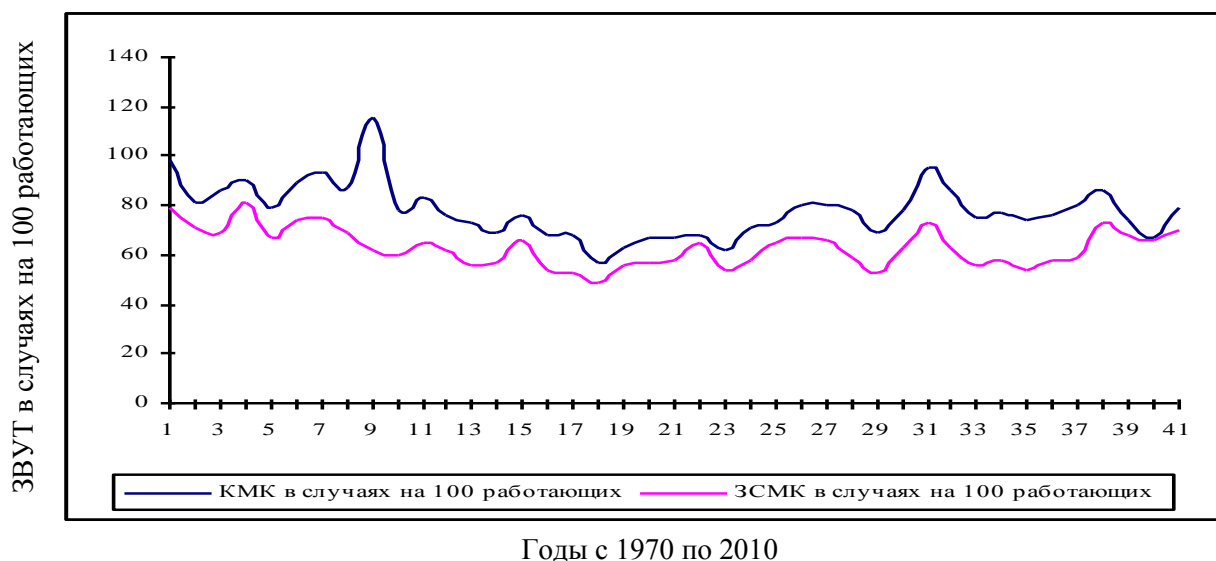


Рисунок 1 – Показатель ЗВУТ в случаях на 100 работающих с 1970 по 2010 г.

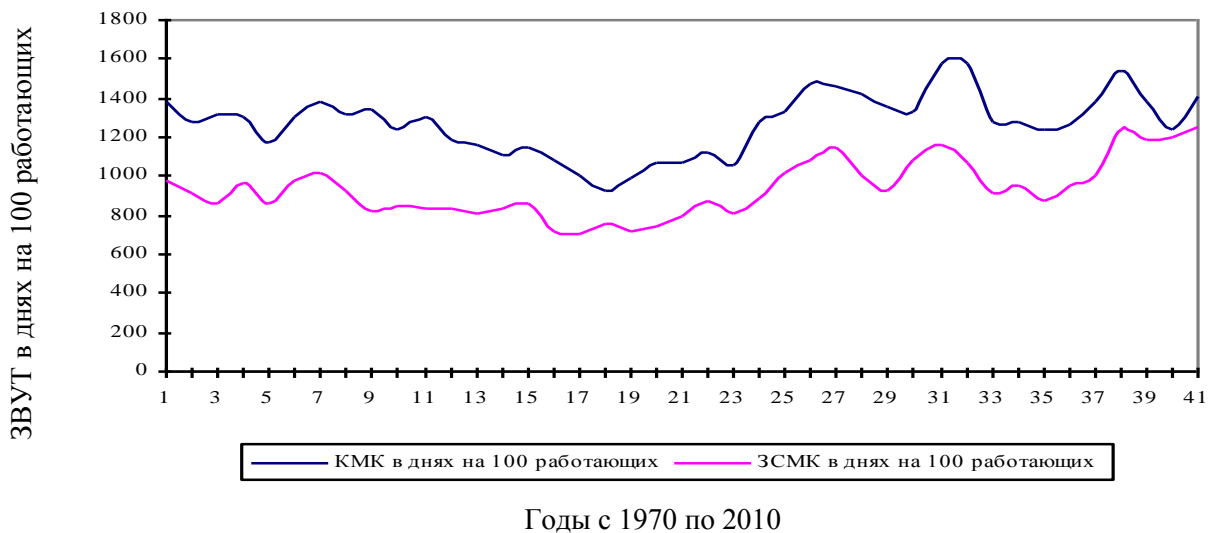


Рисунок 2 – Показатель ЗВУТ в днях на 100 работающих с 1970 по 2010 г.

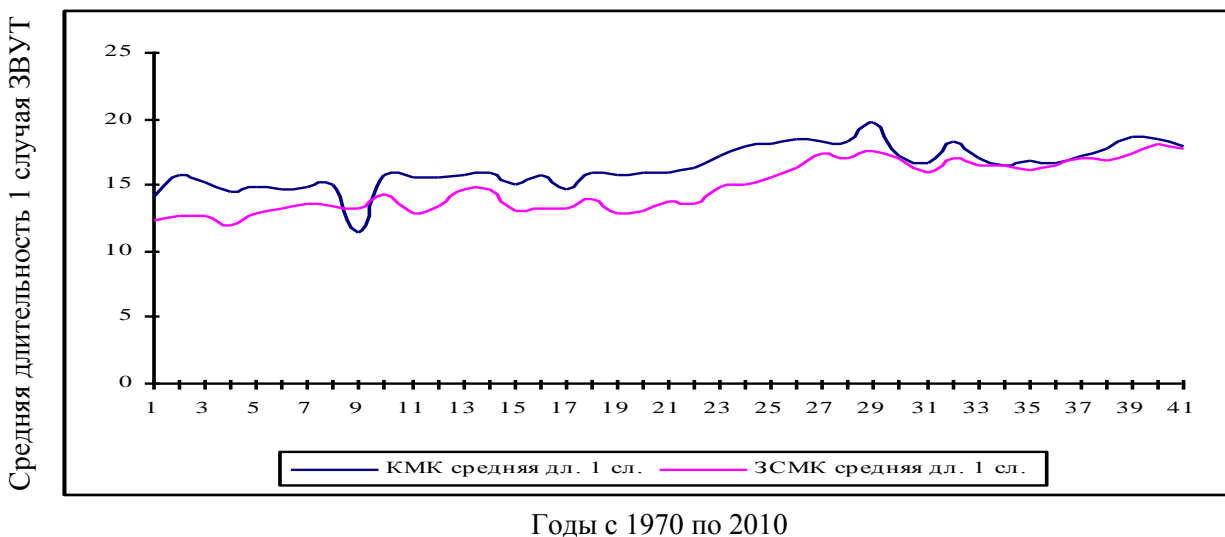


Рисунок 3 – Показатель средней длительности одного случая ЗВУТ

В анализе заболеваемости металлургов можно условно выделить *два этапа*. *Первый этап* (с 1970 года по 1991 г.) – советский период организации медицинской помощи рабочим промышленных предприятий – он характеризовался преимущественным медицинским обслуживанием рабочих. В это время создавались медико-санитарные части, врачебно-инженерные бригады, использовался цеховой принцип организации работы поликлиники. В этот период укомплектованность врачебными кадрами поликлиник составляла от 70 до 90 % – это максимальные показатели укомплектованности в работе цеховой службы. В этот период еще была преимуществом в деятельности поликлиники и стационара. До 1991 года отмечалась тенденция снижения заболеваемости ЗВУТ по двум комбинатам, особенно впечатляют темпы на КМК, в случаях на 100 работающих темп снижения составил 30,5 % или в 1,4 раза, в днях – в 1,2 раза.

Второй этап – переходный период к рыночной экономике и рыночным отношениям. Здесь мы видим рост заболеваемости с временной утратой трудоспособности с 61,7 на 100 работающих на КМК в 1992 году до 94,9 случаев в 2000 году, который составил – 153,1 %, т.е. в 1,5 раза. На то были объективные причины: изменение формы собственности предприятия, введение конкурсного и внешнего управления, банкротство предприятия и

многое другое.

В это время внедряется обязательное медицинское страхование, с 2006 года – национальный проект здоровье, поднимается престиж медицинских работников. Цеховую службу приравнивают к участковой – врачи получают доплату – растет заинтересованность медицинских работников в качестве своего труда – снижается ЗВУТ с пиковых значений 2000 года. В регионе проводится модернизация здравоохранения – оснащаются поликлиники и диагностические службы. Однако продолжается кадровый дефицит – поликлиники укомплектованы врачебными кадрами всего лишь на 45 %.

Заключение. На основании показателей ЗВУТ можно планировать объемы оказания медицинской помощи населению, в частности, металлургам. Данный показатель может быть использован для формирования потребности в объемах и качестве медицинской помощи. В настоящее время в целях программы модернизации здравоохранения выделяются существенные финансовые средства для оказания качественной медицинской помощи. Разрабатываются порядки ведения больных, утверждаются новые сроки лечения заболеваний, алгоритмы и протоколы ведения больных.

В последние 4 – 6 лет наметился слом возрастающего тренда заболеваемости с временной утратой трудоспособности, что свидетельствует, скорее, не об улучшении здоровья работающих, а о снижении доступности медицинской помощи, о нежелании работника брать больничный лист и терять в оплате. Это может приводить к хронизации заболеваний. Настораживает рост показателя *средней длительности* одного случая нетрудоспособности, что свидетельствует о росте тяжести патологического процесса. Необходимо в дальнейшем провести более углубленное социально-гигиеническое исследование здоровья работающих, в частности трудящихся отрасли черной металлургии, сравнить состояние здоровья трудящихся в советский период, период реформ и на современном этапе, выявить основные зоны риска.

Библиографический список

1. Догле Н.В., Юркевич А.Я. Заболеваемость с временной утратой трудоспособности. – М.: Медицина, 1984. – 176 с.
2. Колтун В.З. Комплексная оценка здоровья трудовых коллективов. (На примере металлургического производства) // Дисс. док. мед. наук. – Новокузнецк 1987. – 451 с.
3. Щепин О.П., Медик В.А. Общественное здоровье и здравоохранение. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 591 с.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Калиногорский Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Выработка нормативных актов в сфере управление качеством жизни населения осуществляется в условиях неопределённости, связанной с отсутствием контроля всех факторов, которые влияют на эффективность решения этой проблемы, а также наличием запаздываний в поступлении информации и инерционности объектов управления. Недостатком существующей методики выработки нормативных актов в этой сфере является отсутствие стандартной методики выработки нормативных актов с учётом использования методов управления в условиях неопределённости.

Рассмотрим способ решения проблемы управления качеством жизни населения с помощью методов управления в условиях неопределённости [1], ориентированных на комплексное использование информации и выработку управлений по всем уровням управления

качеством жизни, например [2]: личность, семья, предприятие (организация), регион, страна, группа стран, планета.

Формальная постановка задачи заключается в следующем.

Объект управления имеет следующие параметры:

1) Управляемые выходы Y_l ($l = 1, 2, \dots, L$): индикаторы уровня жизни, связанные с покупательной способностью населения [3], продолжительностью жизни и другими расчётными показателями [4 – 6], а также результатами опроса граждан о качестве жизни [7] и т. д. на заданном уровне управления.

2) Вспомогательные выходы Y_m ($m = 1, 2, \dots, M$): индикаторы уровня жизни более низких уровней управления, а также другие контролируемые выходы объекта управления, которые с меньшим запаздыванием реагируют на действие контролируемых и неконтролируемых входов по отношению к управляемым выходам, измеряемым на заданном уровне управления.

3) Контролируемые входы (возмущения) X_p ($p = 1, 2, \dots, P$): цены на сырьё и услуги, климатические факторы, курсы валют, проводимые мероприятия и т. д.).

4) Неконтролируемые входы (возмущения) Z_t ($t = 1, 2, \dots, T$): нелегальные доходы и расходы, выбросы вредных веществ в окружающую среду, неблагоприятные условия труда, вредные привычки людей, некачественное воспитание в семье, генетические отклонения и т. д.).

5) Управляющие воздействия U_r ($r = 1, 2, \dots, R$): нормативные акты: федеральные и региональные законы, технические и административные регламенты, гости и т. д., устанавливающие объёмы финансирования, размер налогов, алгоритмы действий и другие нормы.

Контролируемые и неконтролируемые входы, управляющие воздействия влияют на обе группы выходных переменных.

При этом обозначим интервалы дискретности считывания управляемых выходов через Δ_i , а вспомогательных выходов Δ_j , а соответствующие дискретные отсчеты – через $i = 1, 2, \dots$ и $j = 1, 2, \dots$, причем интервал дискретности Δ_i , в J раз больше интервала Δ_j :

$$\Delta_i = J\Delta_j. \quad (1)$$

Таким образом, на интервале времени Δ_i^{1*} осуществляется одно измерение значений управляемых выходов и J измерений вспомогательных выходов.

Объект управления может рассматриваться в статике и динамике, т. е. с учётом инерционности объекта управления.

Для примера, при упрощенном представлении объекта в статике линейные алгебраические уравнения i -го управляемого и m -го вспомогательного выходного параметров объекта имеют вид:

$$Y_l(i) = \sum_{p=1}^P a_{lp} X_p(i) + \sum_{r=1}^R b_{lr} U_r(i) + E_l(i), \quad (2)$$

$$Y_m(i, j) = \sum_{p=1}^P a_{mp} X_p(i, j) + \sum_{r=1}^R b_{mr} U_r(i, j) + E_m(i, j), \quad (3)$$

где a_{lp}, b_{lr} – параметры взаимосвязи контролируемых входов и управляющих воздействий с управляемыми выходами;

a_{mp}, b_{mr} – параметры взаимосвязи контролируемых входов и управляющих воздействий с вспомогательными выходами;

$E_l(i), E_m(i, j)$ – эффекты влияния неконтролируемых входов, выраженные в размерности управляемых и вспомогательных выходов.

Взаимосвязь эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые и вспомогательные выходы представлена в виде:

* Цикл, такт управления – интервал времени, на котором необходимо достигнуть заданного качества управления.

= (4)

где c_{lm} – параметры взаимосвязи эффектов влияния;

$K_l(i, j)$ – эффекты влияния неконтролируемых входов, не являющихся общими для управляемых и вспомогательных выходов, выраженные в размерности управляемых выходов.

Имеются ограничения на область изменения управляющих воздействий:

$$U_{r,min} \leq U_r \leq U_{r,max}, \quad (5)$$

$$h_{q,min} \leq h_q(X_p, U_r) \leq h_{q,max}, \quad (q = 1, 2, \dots, Q). \quad (6)$$

Введение соотношения (5) связано, например, с ограниченными ресурсами отдельных видов управляющих воздействий.

Выполнение ограничений (6) необходимо с точки зрения обеспечения выполнения ограничений на соотношение различных входов объекта управления.

При этом приведенные к управляемым выходам эффекты влияния неконтролируемых входов можно удовлетворительно прогнозировать на весь текущий интервал времени Δ_i по своим предыдущим значениям, полученным для одного или нескольких интервалов дискретности Δ_j с начала текущего интервала времени Δ_i .

Контролируемые возмущения также удовлетворительно прогнозируются по своим предыдущим значениям на весь текущий интервал времени Δ_i .

Критерием качества управления является функция, учитывающая степень отклонения управляемых выходов от их заданных значений:

$$G(i) = \sum_{l=1}^L \omega_l \left[Y_l^*(i) - \hat{Y}_l(i) \right]^2, \quad (7)$$

где ω_l – весовые коэффициенты (задаются экспертом);

$Y_l^*(i), \hat{Y}_l(i)$ – заданные и прогнозируемые значения управляемых выходов на i -м такте управления.

С учетом (2) – (4) можно представить (7) в виде:

$$G(i) = \sum_{l=1}^L \omega_l \left[Y_l^*(i) - \sum_{p=1}^P a_{lp} \hat{X}_p(i) - \sum_{r=1}^R b_{lr} U_r(i) - \hat{E}_l(i) \right]^2, \quad (8)$$

где $\hat{X}_p(i)$ – спрогнозированные значения контролируемых входов;

$\hat{E}_l(i)$ – спрогнозированные значения эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы.

Задача управления заключается в том, чтобы для каждого i -го такта управления найти управляющие воздействия $U_r^{opt}(i) (r = 1, 2, \dots, R)$, минимизирующие критерий качества управления (8) при заданных связях (2) – (4), ограничениях (5) – (6), а также других указанных выше условиях.

Допустимое минимальное значения критерия качества управления может формироваться путём задания для каждого управляемого выхода $Y_l (l = 1, 2, \dots, L)$ допустимого отклонения от заданного значения $Y_l^*(i) (l = 1, 2, \dots, L)$.

Для решения поставленной задачи разработана система управления в условиях неопределённости [1], представленная на рисунке 1.

Работа системы управления происходит следующим образом.

На входы модели преобразования X_p и U_r в Y_l из блока формирования и оценки управлений подаются варианты управлений U_j . На другой вход модели объекта поступают

прогнозируемые на предстоящий такт управления значения контролируемых возмущений \hat{X}_p с выхода блока прогноза контролируемых входов.

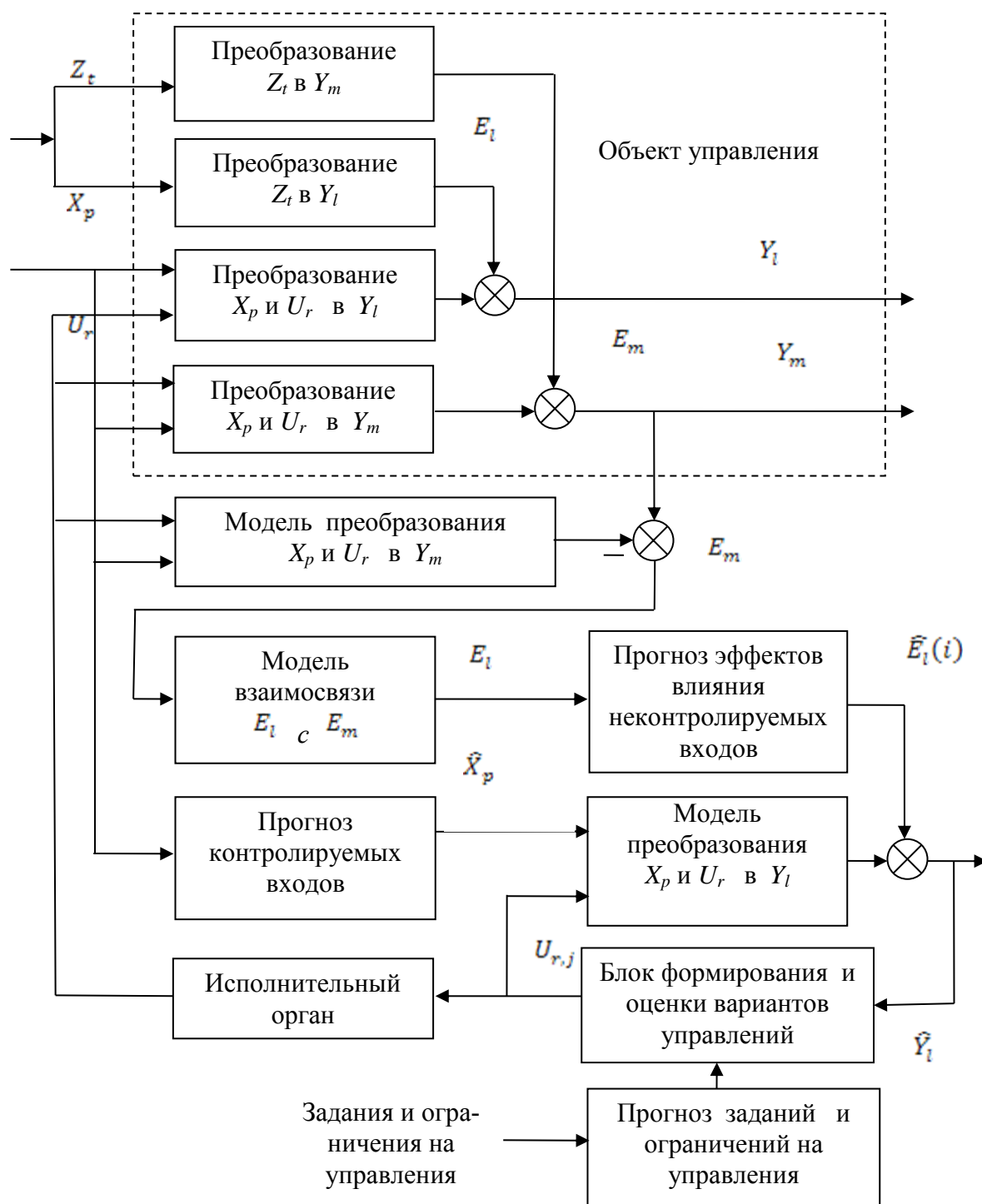


Рисунок 1 – Структура системы управления качеством жизни населения в условиях неопределённости

Выходной сигнал модели объекта, учитывающий влияние контролируемых входов и варианта управляющих воздействий суммируется с сигналом о прогнозируемом на предстоящий такт управления значении эффектов влияния неконтролируемых входов $\hat{E}_l(i)$, по-

ступающим с выхода блока прогноза эффектов влияния неконтролируемых входов. Данная величина формируется с помощью контура косвенного измерения эффектов влияния неконтролируемых входов, включающего модель преобразования X_p и U_r в Y_m , модель взаимосвязи эффектов влияния неконтролируемых входов E_i с E_m и блок суммирования.

В блоке формирования и оценки вариантов управлений осуществляется расчет критерия качества управления для каждого варианта управления $U_{r,j}$, выбор и запоминание варианта, обеспечивающего движение в направлении достижения заданного значения этого критерия с учётом ограничений на входы и выходы объекта управления.

Описанные действия повторяются до тех пор, пока не будет найден оптимальный вариант управления. Этот вариант через исполнительный орган подается на объект управления.

По мере обновления информации о контролируемых входах, вспомогательных выходах, заданиях на управляемые выходы и ограничений на управления осуществляется пересчёт и коррекция оптимальных управлений по ходу текущего такта управления.

Реализация такой схемы управления одновременно на всех уровнях управления позволяет устранять влияние возмущений по контролируемым и неконтролируемым входам путём выработки соответствующих оптимальных управлений.

Конечная ошибка управления при этом зависит от значений ограничений на управления, ошибок прогноза заданий на управляемые выходы, контролируемых входов и эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы.

Для создания эффективной системы управления качеством жизни населения, построенной на рассмотренных принципах, необходимо решение следующих стандартных задач [1]:

- Построение вход-выходных моделей влияния контролируемых входов и управляющих воздействий на управляемые и вспомогательные выходы.
- Построение модели взаимосвязи эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые и вспомогательные выходы.
- Прогноз значений контролируемых входов, эффектов влияния неконтролируемых входов на выходы объекта управления, заданий на управляемые выходы и ограничений на управления.
- Прогноз значений управляемых выходов объекта управления для вариантов управления с учётом действия контролируемых и неконтролируемых входов.
- Формирование алгоритма расчёта управлений.
- Оценка качества управления объектом.

Оценка качества управления должна осуществляться с учётом воспроизведения характеристик параметров объекта управления, сформулированных в постановке задачи управления, включая характеристики контролируемых входов и эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы, влияющих на точность прогноза этих параметров на предстоящий такт управления.

Такая оценка может осуществляться в режиме имитационного моделирования работы алгоритма управления или непосредственно на объекте [1].

Имитационное моделирование работы алгоритма может осуществляться с использованием фактических или специально сгенерированных данных о работе объекта управления.

Исследования непосредственно на объекте управления целесообразно осуществлять путём проведения экспериментов вначале на более низких уровнях управления для снижения опасности создания критических ситуаций.

Результат проведённых исследований должен включать следующие параметры:

- 1) Значения оптимальных управлений $U_r^{opt}(i)$ ($r = 1, 2, \dots, R$), полученные путём минимизации критерия качества управления (7) на основе моделей (9) – (14) и оценок ограничений (5) – (6).

2) Оценки контролируемых входов $\bar{X}_p(i) (p = 1, 2, \dots, P)$, эффектов влияния неконтролируемых входов на вспомогательные \bar{E}_l и управляемые $\bar{E}_l(i)$ выходы, использованные при расчёте оптимальных управлений.

3) Прогнозируемые уровни отклонения каждого управляемого выхода $\bar{Y}_l(i) (l = 1, 2, \dots, L)$ от заданного значения $Y_l^*(i) (l = 1, 2, \dots, L)$, а также погрешность, с которой получены эти значения.

Указанные результаты могут быть представлены для начала такта управления, а также по ходу текущего такта управления и учитывать различные варианты обновления информации о входах, выходах объекта управления, заданиях и ограничениях.

По результатам оценки качества управления принимается решение о завершении исследований в связи с достижением требуемого качества управления или продолжении исследований.

Продолжение исследований осуществляется на основе анализа указанных выше источников ошибки управления и имеющихся возможностей по изменению постановки задачи путём реализации, например, мероприятий, представленных в таблице 1.

Расширение перечня вспомогательных выходов для повышения точности прогноза эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы можно проиллюстрировать практическими примерами.

Таблица 1 – Мероприятия, направленные на снижение ошибки управления

| Источники ошибок управления | Мероприятия, направленные на снижение ошибок управления |
|---|---|
| Недостаточные ресурсы управления из-за узких пределов ограничений (5), (6). | Увеличение ресурсов управления за счёт расширения пределов ограничений (5), (6). Например, увеличение ресурсов финансирования, создание резервных фондов. Расширение перечня управляющих воздействий $U_r (r = 1, 2, \dots, R)$. |
| Ошибки прогноза контролируемых входов $X_p (p = 1, 2, \dots, P)$ на предстоящий такт управления. | Повышение точности прогноза за счёт снижения колебаний при переходе от одного такта управления к другому, например, за счёт формирования нескольких маршрутов доставки сырья, своевременное проведение профилактических мероприятий и т.д. Повышение точности прогноза за счёт снижения интервалов измерения. |
| Ошибки прогноза эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы $E_l (l = 1, 2, \dots, L)$ на предстоящий такт управления. | Расширение перечня вспомогательных выходов для повышения точности прогноза эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы за счёт увеличения точности прогноза эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы по соотношению (11). Выявление наиболее существенных неконтролируемых входов для устранения их влияния или организация их прямого контроля. Повышение точности прогноза за счёт снижения колебаний при переходе от одного такта управления к другому. Например, заключение договоров с надёжными поставщиками товаров и услуг, приобретение надёжного оборудования и т.д. |

Пример 1. Расхождение между прогнозируемым и фактически выполненным объёмом обязательств физическими и юридическими лицами (выдача кредитов в банках малоимущим гражданам, построение финансовых «пирамид», авантюры при долевом строительстве жилья, принятие несбалансированных бюджетов целыми странами и т.д.), не контролируемое государством, приводит в конечном счёте к социальным кризисам.

Выявление наиболее существенных неконтролируемых входов для снижения ошибок прогноза эффектов влияния неконтролируемых входов на управляемые выходы может быть осуществлено на основе анализа взаимосвязи эффектов влияния неконтролируемых

входов на управляемые и вспомогательные выходы.

Пример 2. Выявление взаимосвязи ошибок прогноза показателей качества железнодорожных рельсов (управляемый выход) и скорости нагрева металла в сталеплавильном производстве (вспомогательный выход) позволило локализовать участок производства, на котором действовали мощные неконтролируемые входы, связанные с тепловым режимом работы сталеплавильных агрегатов, и устранить эти воздействия [8].

Рассмотренный подход может быть также использован для выявления факторов, влияющих на здоровье населения, в борьбе с распространением наркотиков, производством фальсифицированной продукции и т.д.

Выявление полного перечня входов, оказывающих влияние на управляемые выходы, а также алгоритмов принятия решений, обеспечивающих решение проблемы управления наиболее актуально при создании, например, систем обеспечения безопасности различного назначения, в борьбе с коррупцией и т.д.

В этих случаях необходимо обеспечить моделирование всех возможных ситуаций, которые могут возникнуть при функционировании объекта управления и нормативно закрепить соответствующие алгоритмы принятия решений.

Пример 3. Ответственному сотруднику (судья, чиновник и т.д.) дают взятку в ситуации, когда от его субъективного мнения зависит решение вопроса. Это становится возможным из-за отсутствия точного алгоритма действий сотрудника в каждой конкретной ситуации.

Кроме того, наличие четких административных регламентов создаёт условия для внедрения систем автоматизации с исключением ведущей роли человека в принятии решений.

В целом имеется необходимость возложения ответственности на создателей систем управления качеством жизни населения за точность результатов оценки качества управления объектами, а необходимость проведения такой работы должна быть закреплена в соответствующих стандартах.

Библиографический список

1. Калиногорский Н.А. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие / Н.А. Калиногорский: Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. –170 с.
2. Павлов А.П. Качество жизни – новое видение / А.П. Павлов // Интернет-журнал Науковедение. – 2011. – № 1 (6). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-zhizni-novoe-videnie#ixzz3WQeZ0fnV> (Дата обращения 6.04.2015 г.).
3. Бобков В.Н., Гулюгина А.А. Мониторинг доходов и уровня жизни (III кв. 2014 г.) / В.Н. Бобков, А.А. Гулюгина // Уровень жизни населения регионов России. – 2014. – № 4 (194). – С. 119 – 128.
4. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях / С.А. Айвазян. – М.: ЦЭМИ РАН, 2000. – 118 с.
5. Васильев А.Л. Россия в XXI веке. Качество жизни и стандартизация. – М. : РИА «Стандарты и качество», 2003 . – 440 с., илл.
6. Гундаров И.А. Поиск оптимальной модели социального государства для высокого качества жизни населения / И.А. Гундаров // Уровень жизни населения регионов России. – 2013. – № 3. – С. 100 – 106.
7. World-happiness-report-2013 / Отчёт комиссии ООН. URL: <http://unsdsn.org/resources/publications/world-happiness-report-2013/> (Дата обращения 6.04.2015 г.).
8. Калиногорский Н.А. Применение метода косвенного измерения возмущений для выделения технологических факторов, определяющих качество железнодорожных рельсов / Н.А. Калиногорский, Г.Б. Мельник, И.П. Строков // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1989. – № 10. – С. 100 – 106.

АЛГОРИТМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА В КОЛОННОМ АГРЕГАТЕ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Сеченов П.А., Цымбал В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Целью работы является описание алгоритмов и создание имитационной модели гравитационного сепаратора колонного струйно-эмульсионного реактора на основе физической постановки задачи, представленной в статье [1].

На рисунке 1 представлены силы, действующие на частицу: сила давления потока F_c , сила тяжести F_G и архимедова сила F_A .

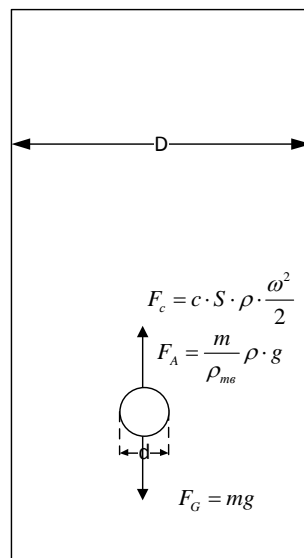


Рисунок 1 – Силы, действующие на частицу в гравитационном сепараторе

В условиях динамического равновесия принцип Д’Аламбера для движущейся частицы приводит к уравнению [2]:

$$F_G - F_c - F_A = m \frac{d\omega_{ms}}{dt} \tag{1}$$

где ω_{ms} – скорость движения сферической частицы.

Сила тяжести выражается как:

$$F_G = mg \tag{2}$$

где g – ускорение свободного падения.

Сила давления потока:

$$F_c = c \cdot S \cdot \rho \cdot \frac{\omega^2}{2} \tag{3}$$

где S – площадь сечения обтекаемого тела по миделю (площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную векторам скорости набегающего потока); ρ – плотность смеси; ω – скорость потока смеси; c – коэффициент лобового сопротивления, который зависит от формы обтекаемого тела и числа Рейнольдса.

Подъемная или архимедова сила:

$$F_A = \frac{m}{\rho_{m6}} \rho \cdot g \quad (4)$$

Из уравнений (1) – (4) получим:

$$\frac{d\omega_{m6}}{dt} = g \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{m6}} \right) - \frac{c \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot m} \cdot S \quad (5)$$

Реализованная программа, состоит из основного модуля и 5 классов (рисунок 2). Как видно из рисунка, отображение частиц и статистических данных вызывается в основном модуле, а отображение графиков происходит в соответствующем классе. Передача данных осуществляется между основным модулем и классами (например, вызов функции класса расчета и возвращение результата из соответствующего класса), передачи данных между классами не осуществляется.

Рассмотрим каждый из классов более подробно. На рисунке 3 представлены основные функции для класса конденсированных частиц.

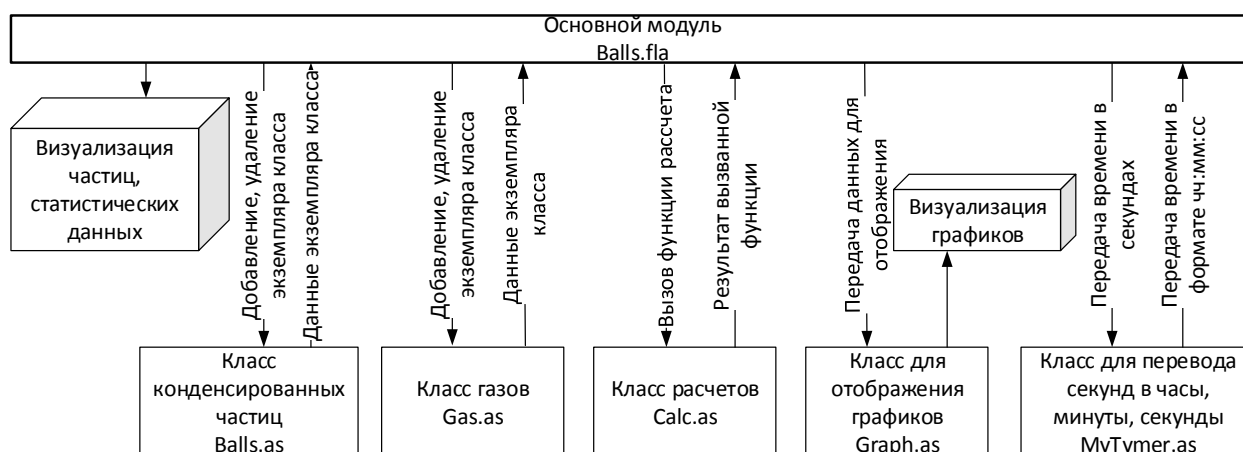


Рисунок 2 – Основные классы программы, передача данных

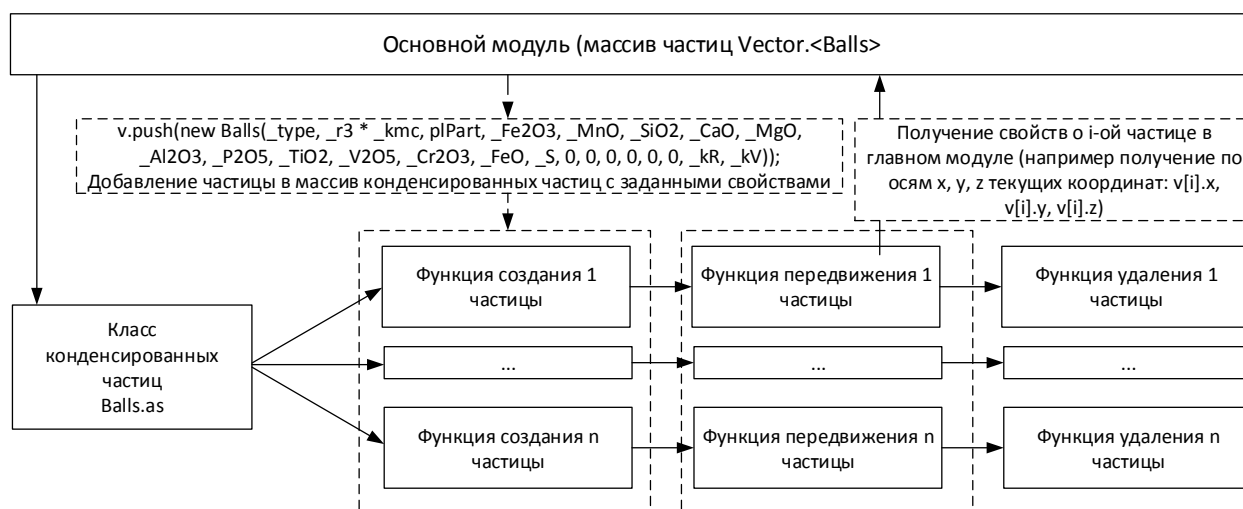


Рисунок 3 – Основные функции для класса конденсированных частиц, взаимодействие с основным модулем

Функция создания частицы включает следующие параметры: идентификатор частицы, радиус частицы, коэффициент увеличения радиуса, коэффициент скорости, плотность и массовые проценты возможных веществ конденсированных частиц (Fe_2O_3 , MnO , SiO_2 , CaO ,

MgO, Al₂O₃, P₂O₅, TiO₂, V₂O₅, Cr₂O₃, FeO, S, Fe, C, Mn).

Данная функция вызывается основным модулем, после чего вызывается функция передвижения частицы.

В функции передвижения частицы, в зависимости от типа, происходит: расчет плавления для железной руды в соответствии с данными, полученными ранее [3], сжигания угля; движение по спирали (радиус колебаний меняется случайно на каждом шаге), средний радиус зависит от положения частицы по высоте ректора (в нижних слоях реактора радиус движения по окружности больше) [4]; определение скорости частицы в реакторе, с учётом сил, действующих на частицу и скоростей потока, рассмотренных в предыдущей статье; проверка того, что частица не вылетела за границы реактора; если частица долетела до уровня шлакового канала, то скорость частицы увеличивается пропорционально отношению внутренних площадей колонного реактора и площади шлакового канала.

Функция удаления частицы, вызывается из основного модуля, например, при вылете частицы в шлаковое отверстие или при полном расплавлении частицы железной руды.

Класс газов содержит те же основные функции, что и класс конденсированных частиц (создание частицы, передвижении и удаление). Функция создания газовой частицы включает: идентификатор, радиус частицы и логическую переменную, которая указывает, зародился ли пузырек газа на границе шлак-металл или нет.

Функции передвижения газовой частицы учитывает: эпюру скоростей (в центре потока скорость выше), место возникновения газовой частицы (на границе шлак-металл или в газовой среде). Частицы газа движутся со скоростью потока по высоте канала; совершают колебательные движения по осям x и z .

Класс расчетов содержит в себе часто используемые функции, для решения поставленной задачи, которые могут быть использованы и в других программах. На рисунке 4 показаны основные функции расчета, а также пример вызова функции расчета объема из основного модуля для последнего в массиве экземпляра конденсированных частиц.

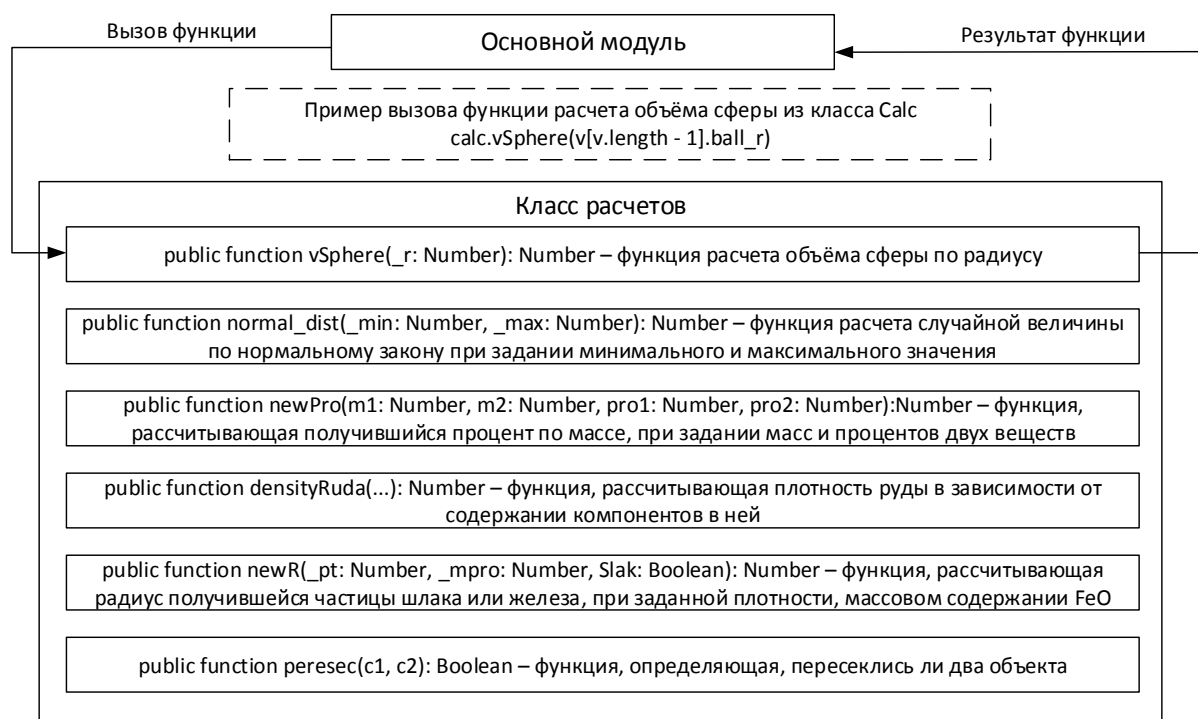


Рисунок 4 – Функции класса расчетов

Класс для отображения графиков, позволяет строить графики по входным данным (рисунок 5).

Схема функций основного модуля показана на рисунке 6.

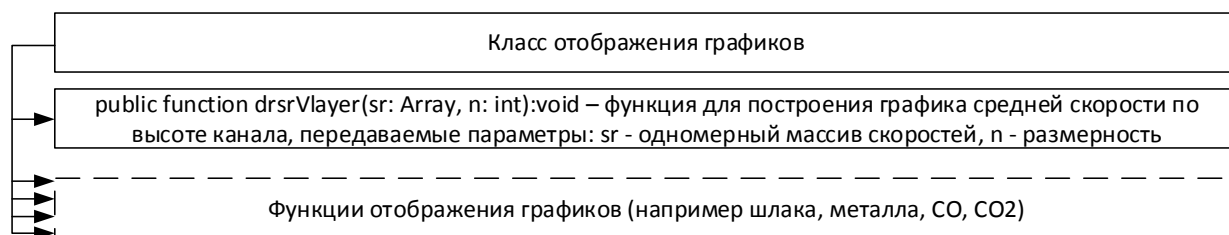


Рисунок 5 – Функция отображения на графике

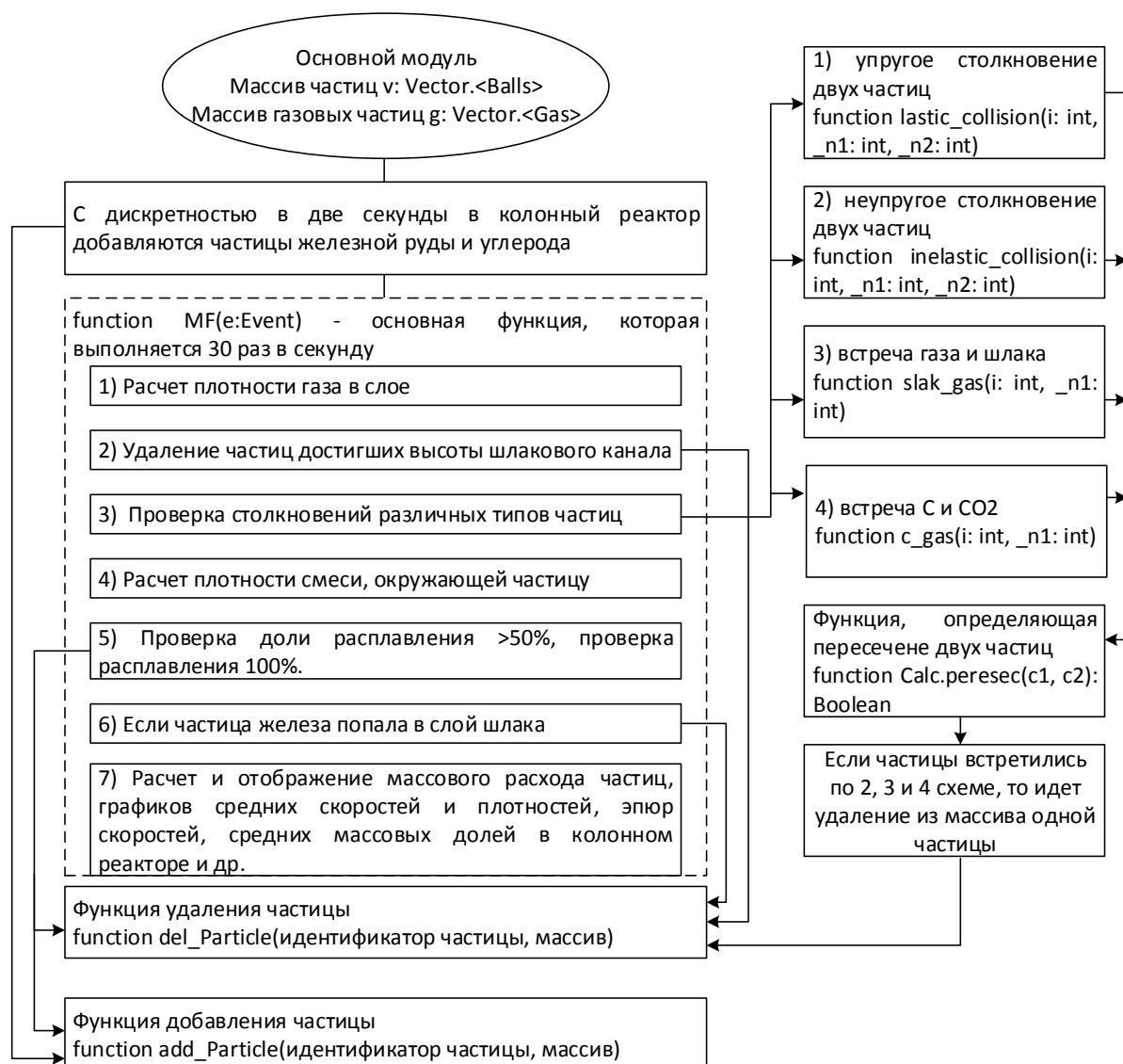


Рисунок 6 – Функции основного модуля

Рассмотрим различные варианты взаимодействия между частицами основного модуля.

Функция упругого столкновения конденсированных частиц сначала проверяет на пересечение i -ю частицу с частицами, начинающимися с $i+1$ позиции и до конца массива частиц. Если есть столкновение между частицами, то по плотностям и радиусам частиц,

находятся их массы, после чего в соответствии с законом сохранения импульса, находятся новые вектора скоростей частиц.

Функция неупругого столкновения конденсированных частиц в случае объединения, находит радиус, плотность, состав и вектор скорости образовавшейся частицы, при этом одна частица меняет свой радиус и плотность, а вторая удаляется из массива частиц.

Функция встречи шлака с газом, рассматривает ситуацию, когда шлак «наматывается» на газ [4], при этом рассчитывается, плотность и радиус образовавшейся частицы, одна частица меняет свойства, другая удаляется.

Функция встречи C с CO_2 , в случае нахождения пересечения, удаляет две текущие частицы, и создает новую частицу газа CO в соответствии с количеством вещества исходных частиц.

Отметим, что наиболее медленная часть программы состоит в функции проверки пересечения двух частиц. Сложность данной функции, а, следовательно, и программы $O(N^2)$, где O – функция скорости алгоритма от N – количества обрабатываемых частиц.

На рисунке 7 представлен фрагмент работы созданной имитационной модели, а также графическое представление результатов моделирования.

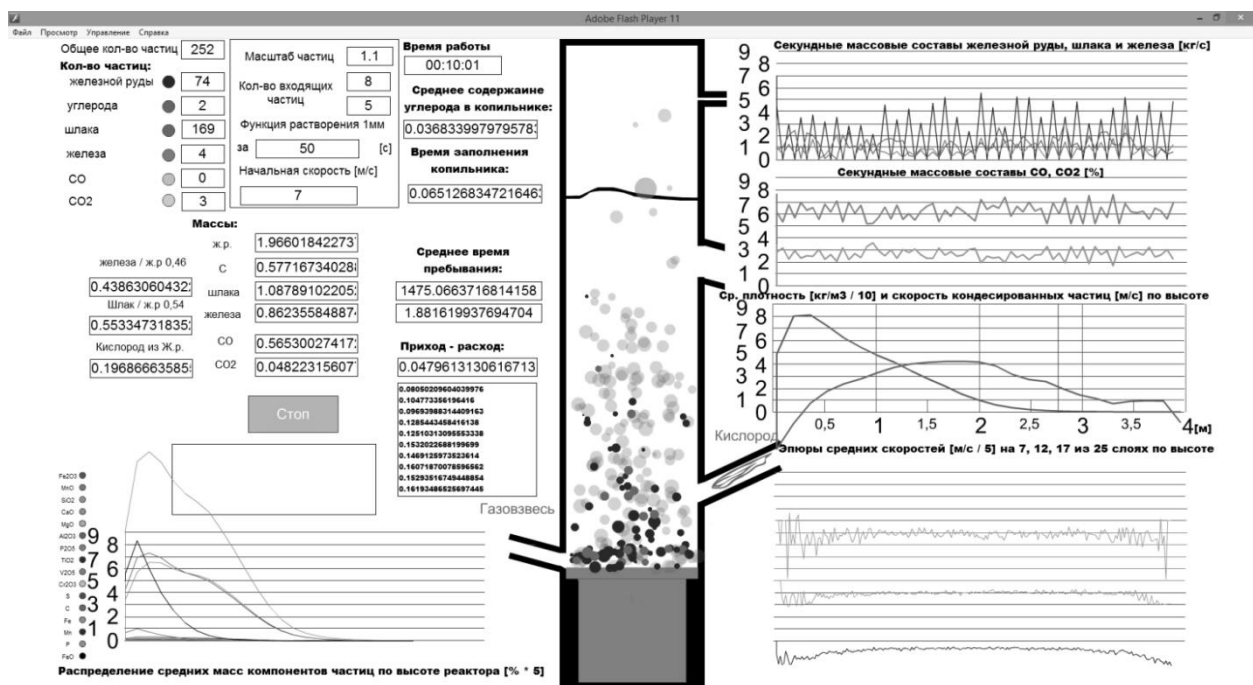


Рисунок 7 – Пример программной реализации имитационной модели гравитационного сепаратора типа СЭР

Наряду с дифференциацией результатов движения и взаимодействия частиц в программе выводится информация: об общем количестве частиц в реакторе, количестве частиц железной руды, углерода, шлака, железа, CO , CO_2 ; средние массы за минуту железной руды, шлака и железа; графики массового содержания соответствующих частиц; график распределения средних масс компонентов частиц в реакторе, среднее время пребывания частиц шлака и железа, соотношение приход-расход масс в реакторе. Также предусмотрена возможность менять количество подаваемых частиц железной руды и углерода, размер подаваемых частиц, начальную скорость потока в реакторе, скорость растворения частицы.

Тестирование показало работоспособность данного алгоритма и удовлетворительное совпадение конечных результатов имитационного моделирования с законом сохранения вещества.

Полученная модель в определенной степени является заместителем объекта, в част-

ности на ней можно изучить: время пребывания частиц в реакторе, распределение плотностей по высоте канала, влияние на процесс гранулометрического состава подаваемой шихты и др.

Библиографический список

1. Сеченов П.А., Цымбал В.П. Постановка задачи создания имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном реакторе агрегата СЭР. // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве. УрФУ. Екатеринбург, 2015. С. 114-119.
2. Лавренко А.Т. Автореферат диссертации магистра: «Анализ работы сепаратора прямого коксового газа». [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua>. Заглавие с экрана.
3. Сеченов П.А., Оленников А.А., Цымбал В.П. Исследование динамики изменения состава шлака в зонной модели колонного струйно-эмульсионного реактора. // Творческое наследие В.Е. Грум-Гржимайло: история, современное состояние, будущее. В 2 ч. Часть 2. Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве. УрФУ. Екатеринбург, 2014. С. 105-110.
4. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Рыбенко И.А. и др. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор / Под ред. В.П. Цымбала. – М: Металлургиздат, 2014. – 488 с.

СОВМЕСТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ СТАЛИ *

Агеев Д.А., Мышляев Л.П., Чернявский С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Эффективность управления сложными нестационарными процессами во многом зависит от адекватности моделей влияния управляющих воздействий на их выходные целевые показатели.

Представляется полезным объединение функций выработки управляющих воздействий и оперативной идентификации моделей. Содержательные основы этому заложены в работах А.А. Фельдбаума по дуальному управлению [1].

Практическое применение представленных в [1] положений требует их развития и конкретизации в силу того, что на практике трудно выполнять предпосылки теоретических методов.

Работоспособным вариантом, объединяющим указанные функции, может служить алгоритм идентификации модели «изменение интенсивности расхода кислорода на продувку – изменение содержания СО в отходящих газах кислородно-конвертерной плавки стали».

В системах управления кислородно-конвертерной плавки стали функционируют алгоритмы расчета количества кислорода на продувку с корректировкой его расхода в зависимости от так называемой «особой» точки. Эта точка характеризуется резким уменьшением содержания СО в отходящих газах в заключительный период продувки [2].

Моменту появления «особой» точки соответствует определенное содержание углерода в металле. Зная это значение углерода в металле перед самым концом продувки можно достаточно точно рассчитать количество необходимого для продувки кислорода, чтобы получить требуемое содержание углерода в стали [3].

Известно, что содержание углерода в металле в «особой» точке $C_{от}$ не является величиной постоянной и зависит от многих факторов [4]. По этой причине содержание углерода

* Работа поддержана грантом РФФИ по проекту № 15-07-02231.

в металле в «особой» точке на текущей плавке приходится рассчитывать, или экстраполировать, по оценкам предшествующих плавки.

На рисунке 1 представлен пример динамики содержания углерода в металле в «особой» точке.

Экстраполяция точек такого временного ряда даже на один такт не дает большого эффекта.

Вместе с тем, на содержание углерода в металле оказывает существенное влияние содержание $CO_{от}$ в отходящем газе, которое зависит от интенсивности расхода кислорода [2]. Стабилизация содержания газа $CO_{от}$ дает основание утверждать о стабилизации содержания углерода в металле в «особой» точке.

Зависимость величины содержания газа $CO_{от}$ в особой точке от интенсивности продувки нестационарна. Это обусловлено изменением по ходу кампании характеристик газоотводящего тракта и газоанализирующей аппаратуры.

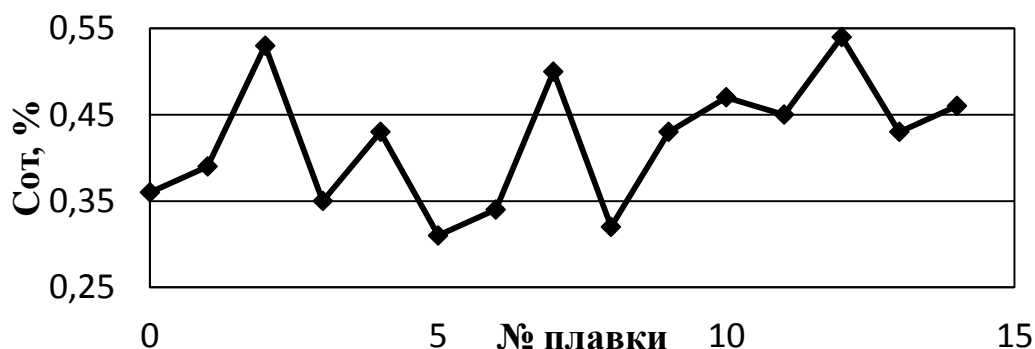


Рисунок 1 – Динамика содержания углерода в «особой» точке

Зависимость «Изменение интенсивности продувки I_{O_2} – изменение содержания $CO_{от}$ в отходящих газах» можно аппроксимировать моделью

$$T(t) \frac{d\delta CO_{от}(t)}{dt} + \delta CO_{от}(t) = k(t) \delta I_{O_2}(t - \tau(t)), \quad (1)$$

где $T(t)$, $k(t)$, $\tau(t)$ – постоянная времени, коэффициент передачи и время чистого запаздывания; t – непрерывное время.

Время чистого запаздывания увеличивается по ходу кампании, что объясняется снижением пропускной способности газоотводящего тракта, и практически линейно зависит от номера плавки кампании.

Поскольку оперативная идентификация коэффициентов T и k модели (1) осуществляется по данным, полученным в ходе промышленной эксплуатации объекта, т.е. когда объект охвачен управляющими связями, то необходимо специальное формирование исходных данных [1]. Процедуру формирования таких данных полезно совместить с процедурой выработки и реализации управляющих воздействий согласно концепции дуального управления.

Суть такой процедуры заключается в выполнении операций [5]

- нанесение в заданный момент времени управляющего воздействия ступенчатого типа и фиксация его на интервале времени переходного процесса от этого воздействия;
- регистрация на интервале времени переходного процесса данных об управляющем δI_{O_2} и выходном $\delta CO_{от}$ воздействии и расчет по этим данным коэффициентов T и k ;
- расчет величины управляющего воздействия с использованием полученных оценок T и k и реализация на следующем интервале переходного процесса, величина которого определяется также с использованием новых оценок T и k .

Алгоритм оперативной идентификации коэффициентов модели и выработки управляющих воздействий содержит основные блоки.

I. Выработка и реализация управляющих воздействий $\delta I_{O_2}(i^*)$

$$I_{O_2}(i^*) = I_{O_2}(i^*-1) + \delta I_{O_2}(i^*), \quad (2)$$

$$\delta I_{O_2}(i^*) = \frac{CO_{от}(i^*) - CO_{от}^*(i^*)}{\hat{k}(i^*)}, \quad (3)$$

$$i^* = (i^*-1) + T_{ин}(i-1), \quad (4)$$

$$T_{ин}(i-1) = 3\hat{T}(i-1) + \hat{\tau}(i-1), \quad (5)$$

где i^* – момент времени окончания переходного процесса от ступенчатого изменения $\delta I_{O_2}(i^*-1)$ на предыдущем (i^*-1) такте управления.

II. Переход от модели

$$T(t) \frac{d\delta CO_{от}(t)}{dt} + \delta CO_{от}(t) = k(t)\delta I_{O_2}(t - \tau(t)),$$

к разностной форме

$$y(j) = b_1(j) \cdot y(j-1) + b_2(j) \cdot u(j-1), \quad (6)$$

где j – дискретное время (дискретное время обозначено как j внутри интервала переходного процесса для того, чтобы не совмещать с номером плавки i);

l – время дискретного запаздывания, и приведение к линейно-параметрическому виду.

$$\delta CO_{от}(j) = b_1(j)\delta CO_{от}(j-1) + b_2(j)\delta I_{O_2}(j); \quad k_j(j) = \overset{\Delta}{b}(j)_n, \quad (7)$$

$$u_1(j-l_1) = y(j-1) = \delta CO_{от}(j-1), \quad (8)$$

$$u_2(j-l_2) = u(j-l_2) = \delta I_{O_2}(j-l_2), \quad (9)$$

где $l_2 = \text{int} \left\{ \frac{\tau}{\Delta} \right\}$; Δ – шаг дискретизации.

III. Оценивание коэффициентов b_1 и b_2 по алгоритму [5]

$$u_p(i) = u_{p,p}(i) + u_{p,u}(i), \quad (10)$$

$$u_{p,p}(i) = a_p \varepsilon(i), \quad (11)$$

$$u_{p,u}(i) = u_{p,u}(i-1) + a_u \varepsilon(i), \quad (12)$$

$$\varepsilon(i) = y(i) - y^m(i), \quad (13)$$

$$y^m(i) = b_1(i)y^m(i-1) + b_2(i)u(i), \quad (14)$$

$$u_{p,j}(i) = \overset{\Delta}{b}_j(i). \quad (15)$$

IV. Переход от «промежуточных» коэффициентов b_1 и b_2 к исходным коэффициентам T и k

$$\hat{T}(j) = -\frac{\Delta}{\ln b_1(j)}, \quad (16)$$

$$\hat{k}(j) = \frac{b_2(j)}{1-b_1(j)}. \quad (17)$$

В результате оперативно уточняются коэффициенты модели объекта, функционирующего в замкнутом контуре управления, и одновременно вырабатываются управляющие воздействия с использованием уточненных коэффициентов модели.

Оценка эффективности алгоритма идентификации коэффициентов T , k , τ проводилась путем имитационного пересчетного моделирования [6] по двум критериям.

1) Показатель «гладкости» временного ряда содержания углерода в металле в «особой» точке, который характеризует потенциальные возможности экстраполяции этого временного ряда.

За показатель «гладкости» взят спад автокорреляционной функции, определяемый коэффициентами автокорреляции между i -той и $(i-1)$ -ой, $(i-2)$ -ой и $(i-3)$ -ей плавками.

2) Целевой критерий эффективности всей системы расчета расхода кислорода на плавку – процент попадания содержания углерода в стали в заданный интервал на повалке конвертера.

Стабилизация содержания CO в отходящих газах привела к меньшей изменчивости содержания углерода в металле в «особой» точке. На рисунке 2 показан пример динамики содержания углерода в «особой» точке в период со стабилизацией и без стабилизации CO в отходящих газах. Визуально видно, что улучшились «гладкостные» свойства временного ряда, что повысило точность его экстраполяции.

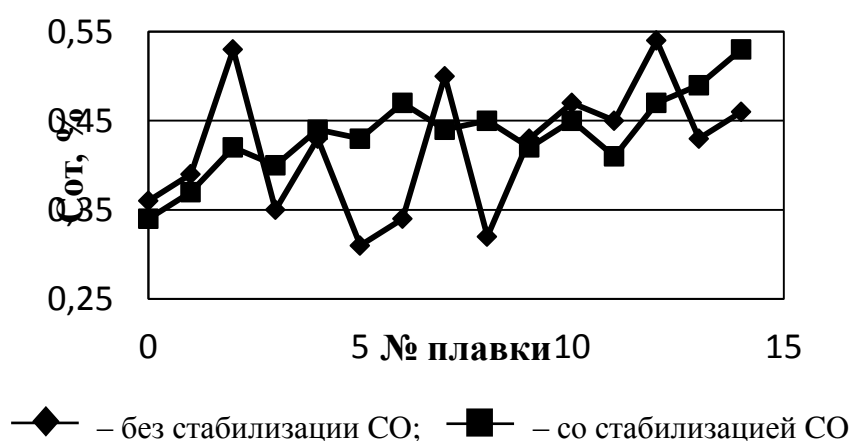


Рисунок 2 – Динамика содержания углерода в «особой» точке

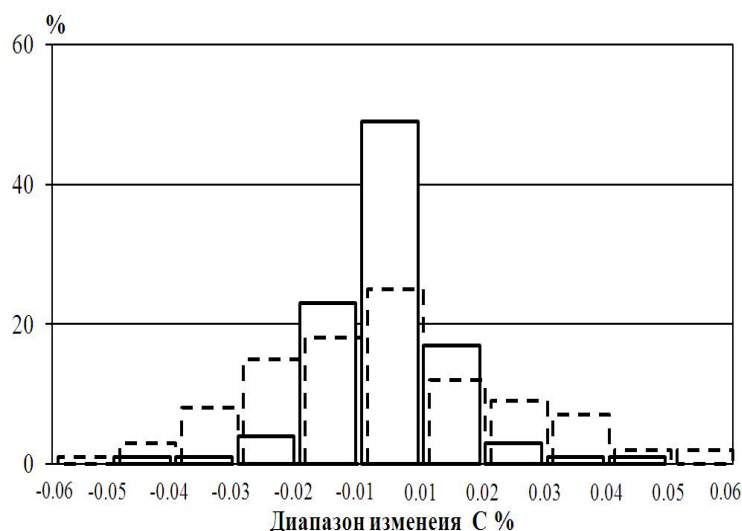
Количественные оценки показателя «гладкости» – значения коэффициентов автокорреляции даны в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение коэффициента автокорреляции $C_{от}(i)$ (садка конвертера 350 т)

| Коэффициент автокорреляции | С идентификацией | Без идентификации |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| Между i и $(i-1)$ плавками | 0.71 | 0.49 |
| Между i и $(i-2)$ плавками | 0.45 | 0.29 |
| Между i и $(i-3)$ плавками | 0.21 | 0.15 |

Окончательная оценка эффективности оперативной идентификации коэффициентов сделана по ошибкам содержания углерода в готовой стали.

На рисунке 3 приведены соответствующие гистограммы, из которых видно, что попадание на первой повалке конвертера в заданный интервал по содержанию углерода в стали увеличилось на 25 % и, соответственно, уменьшилось количество корректирующих операций по углероду на 14 %.



— с уточнением коэффициентов по предложенному алгоритму;
 - - без уточнения коэффициентов

Рисунок 3 – Гистограмма распределения отклонений содержания углерода в стали на повалке конвертера от заданного значения

Объединение функций выработки управляющих воздействий и идентификации модели дает возможность эффективного управления нестационарными объектами в условиях существенной неопределенности.

Библиографический список

1. Фельдбаум А. А. Методы теории автоматического управления / А. А. Фельдбаум., А.Г. Бутковский. - М.: 1971. - 744 с.
2. Способы расчета масс материалов конвертерного процесса / Авдеев В.П., Айзатулов Р.С., Мышляев Л.П. и др. – М.: Metallurgia. – 1994. – 192 с.
3. Явойский В.И. Теория процессов производства стали / В.И. Явойский. – М.: Metallurgia, 1967. – 792 с.
4. Туркенич Д.И. Управление плавкой стали в конвертере / Д.И. Туркенич. – М.: Metallurgia, 1971. – 360 с.
5. Мышляев Л.П., Агеев Д.А. Синтез идентификаторов в виде замкнутых динамических систем / Л.П. Мышляев, Д.А. Агеев // Изв. вузов. Чёрная металлургия.-2010.-№ 12. – С. 60-62.
6. Натурно-математическое моделирование в системах управления.: Учеб. пособие / В. П. Авдеев, С. Р. Зельцер, В. Я. Карташов, С. Ф. Киселев. – Кемерово: КемГУ, 1987. – 85 с.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ДРОБЕЙ

Новосельцева М.А.

*Кемеровский государственный университет,
 г. Кемерово, Россия*

В настоящее время в связи с предъявлением все более высоких требований к процессам управления в различных областях жизнедеятельности проблема идентификации объектов, систем, явлений и процессов играет исключительно важную роль. Нельзя обеспечить эффективное и качественное управление системой, если не известна с достаточной степенью точности ее модель. Поэтому при проектировании систем контроля и управления проводятся многочисленные исследования по определению математических моделей этих си-

стем. При идентификации объектов часто базируется на концепции черного ящика, а это, в свою очередь, приводит к появлению априорной неопределенности, которую необходимо каким-то образом преодолевать. Чаще всего в условиях априорной неопределенности приходится прибегать к методам идентификации в широком смысле, то есть оценивать структуру и параметры модели системы. Основные подходы к выбору структуры основываются на интуиции исследователя и методе перебора пробных моделей [1, 5 – 7]. Кроме того, реальный объект всегда связан с внешней средой и учет случайных факторов, необходимость в котором увеличивается по мере перехода к рассмотрению более сложных систем, требует привлечения методов описания и анализа стохастических объектов.

В данной работе рассматриваются вопросы структурно-параметрической идентификации стохастических объектов, на входе и выходе которых имеются случайные процессы. Такие объекты составляют большой класс сложных реальных производственных систем. Основную роль при решении задачи структурно-параметрической идентификации стохастического объекта, исключающей перебор пробных моделей, играет теория непрерывных дробей [3, 4]. В таких случаях структурная идентификация включает в себя параметрическую идентификацию как составную часть. Простым и удобным способом перехода к непрерывной дроби является модифицированный метод В. Висковатова.

Пусть имеются измерения стационарных или приведенных к ним [1, 3] вход-выходных случайных процессов объекта $x(t)$ и $y(t)$ в дискретные моменты времени $n\Delta t$, где $n=0,1,2,\dots$, Δt – шаг дискретизации. Найдены статические характеристики процессов – корреляционная функция входного процесса $R_{xx}(k\Delta t)$ и взаимная корреляционная функция вход-выходного случайных процессов $R_{xy}(k\Delta t)$. Далее определяется идентифицирующая матрица вида (1)

$$\begin{matrix} (-1) - \text{строка} \\ (0) - \text{строка} \\ 1 - \text{строка} \\ \dots \\ \dots \\ m - \text{строка} \\ \dots \end{matrix} \begin{pmatrix} R_{xx}(0) & R_{xx}(\Delta t) & R_{xx}(2\Delta t) & \dots & R_{xx}(n\Delta t) & \dots \\ R_{xy}(0) & R_{xy}(\Delta t) & R_{xy}(2\Delta t) & \dots & R_{xy}(n\Delta t) & \dots \\ \alpha_1(0) & \alpha_1(\Delta t) & \alpha_1(2\Delta t) & \dots & \alpha_1(n\Delta t) & \dots \\ \alpha_2(0) & \alpha_2(\Delta t) & \alpha_2(2\Delta t) & \dots & \alpha_2(n\Delta t) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_m(0) & \alpha_m(\Delta t) & \alpha_m(2\Delta t) & \dots & \alpha_m(n\Delta t) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad (1)$$

в которой (-1)-строка и (0)-строка содержат значения корреляционной функции входного процесса $R_{xx}(k\Delta t)$ и взаимной корреляционной функции вход-выходного процессов $R_{xy}(k\Delta t)$, а элементы $\alpha_m(n\Delta t)$ определяются соотношением:

$$\alpha_m(n\Delta t) = \frac{\alpha_{m-2}((n+1)\Delta t)}{\alpha_{m-2}(0)} - \frac{\alpha_{m-1}((n+1)\Delta t)}{\alpha_{m-1}(0)}, \quad (2)$$

$\alpha_{-1}(n\Delta t) = R_{xx}(n\Delta t)$, $\alpha_0(n\Delta t) = R_{xy}(n\Delta t)$, $m = 1, 2, 3, \dots$, а $n = 0, 1, 2, \dots$. Элементы первого столбца матрицы определяют непрерывную правильную С-дробь [3, 4] вида (3):

$$G(z) = \frac{R_{xy}(0)/R_{xx}(0)}{1 + \frac{\alpha_1(0)z^{-1}}{1 + \frac{\alpha_2(0)z^{-1}}{1 + \dots}}}. \quad (3)$$

В модифицированном методе В. Висковатова при аппроксимации дробно-рациональной функции конечного порядка в матрице (1) наблюдается появление нулевой строки, номер которой позволяет идентифицировать порядок функции. Если в некоторой i -ой строке матрицы конечное число k_i первых элементов равны 0, а последующие элементы

отличны от нуля, то необходимо осуществить сдвиг влево на k_i элементов до появления в нулевом столбце ненулевого элемента и далее продолжить определение других элементов матрицы (1) по правилу (2). Для i -ой строки при восстановлении правильной C -дроби элемент $\alpha_i(0)$ умножается на z^{-k_i} .

Свернув дробь (3), можно перейти к дробно-аналитическому выражению для дискретной передаточной функции (ДПФ) стохастического объекта:

$$G(z) = \frac{\sum_{i=0}^m a_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n b_i z^{-i}}. \quad (4)$$

Найдя нули и полюса (4) и их прообразы в s -плоскости с помощью обратного к $z = e^{s\Delta t}$ логарифмического отображения

$$s = \frac{1}{\Delta t} \ln |z| + i \frac{1}{\Delta t} \arg z \quad (5)$$

можно перейти к непрерывной передаточной функции (НПФ) стохастического объекта. Путём вариации шага дискретизации Δt устанавливают эквивалентность моделей [3], полученных при различных значениях шага дискретизации. Принципы вариации шага дискретизации и его влияние на точность восстановления модели подробно рассмотрены в [3].

Ранее были исследованы возможности применения модифицированного метода В. Висковатова для широкого круга линейных и линеаризованных динамических объектов, как детерминированных, так и стохастических [3, 4]. Кроме того, при решении практических задач, связанных с дискретизацией вход-выходных детерминированных процессов, приходилось сталкиваться со следующим фактом: НПФ линейного динамического объекта обладает свойством инвариантности к изменению вида входного воздействия, однако для ДПФ это свойство не выполняется. Этот факт был подтвержден в ряде работ с использованием модифицированного метода В. Висковатова [4].

В данной работе было исследовано влияние вида случайного входного воздействия на структуру и параметры дискретной и непрерывной моделей стохастического объекта, получаемых на основе модифицированного метода В. Висковатова. Были выбраны объекты с различными функциональными свойствами, в качестве входных воздействий взяты случайные процессы с типовыми корреляционными функциями разной структуры. В качестве одного из примеров рассмотрим колебательный объект 2-го порядка с НПФ

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + s + 1}. \quad (6)$$

НПФ (6) имеет комплексно-сопряженные полюса $s_{1,2}^H = -0.5 \pm i0.86602$. Получим дискретные и непрерывные модели данного объекта с помощью модифицированного метода В. Висковатова. Шаг дискретизации $\Delta t = 0.5$ с. был выбран исходя из условия идентифицируемости [3, 4].

1) На вход объекта подается случайный процесс с корреляционной функцией $R_{xx}(t) = e^{-0.5t}$. Взаимная корреляционная функция вход-выходного процессов имеет вид $R_{xy}(t) = \frac{4}{3} e^{-0.5t} (1 - \cos(\frac{\sqrt{3}}{2} t))$. Составляем идентифицирующую матрицу с учетом сдвига в нулевой строке на один элемент влево

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.778801 & 0.606531 & 0.472367 & 0.367879 & \dots \\ 0.095838 & 0.284779 & 0.460762 & 0.569260 & 0.595892 & \dots \\ -2.192645 & -4.201160 & -5.467417 & -5.849795 & -5.474664 & - \\ 1.055421 & 2.314164 & 3.271867 & 3.720843 & - & \\ -0.276621 & -0.606531 & -0.857540 & - & - & \\ 0 & 0 & - & - & - & \end{pmatrix}.$$

4-я строка матрицы нулевая. По элементам 1-го столбца получаем ДПФ объекта

$$G(z) = \frac{0.05838z^{-1} + 0.074638z^{-2}}{1 - 1.413845z^{-1} + 0.606531z^{-2}}. \quad (7)$$

На основе (5) полюса в z-плоскости $z_{1,2}^H = 0.7069 \pm i0.326789$ соответствуют полюсам НПФ в s-плоскости $s_{1,2}^H = -0.5 \pm i0.86602$, которые совпадают с истинными полюсами НПФ (6). Нуль $z^H = 0.778800$ в НПФ отсутствует в силу отрицательности [3, 4].

2) Входной процесс имеет корреляционную функцию $R_{xx}(t) = e^{-0.5t}(1 + 0.5t)$, взаимная корреляционная функция вход-выходного процессов равна

$$R_{xy}(t) = \frac{2}{9} e^{-0.5t} \left(6 + 3t - 6 \cos\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) - 2\sqrt{3} \sin\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) \right).$$

Идентифицирующая матрица

$$\begin{pmatrix} 1.000000 & 0.973501 & 0.909796 & 0.826641 & 0.735759 & 0.644636 & 0.557825 & 0.477878 \\ 0.103875 & 0.333461 & 0.582845 & 0.780246 & 0.890660 & 0.909574 & 0.825704 & 0.745505 \\ -2.236706 & -4.701216 & -6.684733 & -7.838568 & -8.111766 & -7.651100 & -6.699045 & - \\ 1.108359 & 2.622361 & 4.006860 & 4.947670 & 5.335701 & 5.213876 & - & \\ -0.264137 & -0.626477 & -0.959445 & -1.187397 & -1.283440 & - & - & \\ -0.005804 & -0.017248 & -0.0311427 & -0.044938 & - & - & - & \\ -0.599656 & -1.781846 & -3.246671 & - & - & - & - & \\ 0 & 0 & - & - & - & - & - & \end{pmatrix}$$

позволяет восстановить ДПФ стохастического объекта

$$G(z) = \frac{(0.103875z^{-1} + 0.087803z^{-2})(z^{-1} - 0.606516z^{-2})}{(1 - 1.413842z^{-1} + 0.606529z^{-2})(z^{-1} - 0.584101z^{-2})}. \quad (8)$$

Применим процедуру сокращения совпадающих (с точностью до погрешности вычислений) нулей и полюсов:

$$G(z) = \frac{0.103875z^{-1} + 0.087803z^{-2}}{1 - 1.413842z^{-1} + 0.606529z^{-2}}, \quad (9)$$

тогда полюса в z-плоскости $z_{1,2}^H = 0.7069 \pm i0.326789$ соответствуют полюсам НПФ в s-плоскости $s_{1,2}^H = -0.5 \pm i0.86603$. Нуль $z^H = -0.845278$ в НПФ отсутствует.

3) На вход объекта подается случайный процесс с корреляционной функцией $R_{xx}(t) = e^{-0.5t}(1 - 0.5t)$. Взаимная корреляционная функция вход-выходного процессов

имеет вид: $R_{xy}(t) = \frac{2}{9} e^{-0.5t} \left(6 - 3t - 6 \cos\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) + 2\sqrt{3} \sin\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) \right)$. Идентифицирующая матрица

$$\begin{pmatrix} 1.000000 & 0.584100 & 0.303265 & 0.118091 & 0.000001 & -0.071626 & -0.111565 & -0.130330 \\ 0.087802 & 0.236096 & 0.338678 & 0.358474 & 0.301124 & 0.194710 & 0.071264 & -0.042323 \\ -2.104874 & -3.554043 & -3.962396 & -3.429597 & -2.289235 & -0.923208 & 0.351701 & - \\ 1.000492 & 1.974822 & 2.451128 & 2.342009 & 1.779004 & 0.978732 & - & - \\ -0.285368 & -0.567436 & -0.711497 & -0.690541 & -0.539645 & - & - & - \\ -0.014586 & -0.043340 & -0.078969 & -0.112922 & - & - & - & - \\ -0.983009 & -2.920959 & -5.322230 & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & - & - & - & - & - & - \end{pmatrix}$$

позволяет восстановить ДПФ стохастического объекта

$$G(z) = \frac{0.087802z^{-1} + 0.063002z^{-2}}{1 - 1.413844z^{-1} + 0.606530z^{-2}}. \quad (11)$$

Полюса ДПФ соответствуют истинным полюсам НПФ (6) с точностью до погрешностей вычислений.

4) Корреляционная функция входного процесса имеет вид - $R_{xx}(t) = e^{-4t} \cos t$, взаимная корреляционная функция вход-выходного процессов задается соотношением

$$R_{xy}(t) = \frac{1}{193} e^{-4t} (12 \cos(t) - 7 \sin(t)) + \frac{2}{579} e^{-0.5t} \left(49\sqrt{3} \sin\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) - 18 \cos\left(\frac{\sqrt{3}t}{2}\right) \right).$$

Идентифицирующая матрица имеет вид:

$$\begin{pmatrix} 1.000000 & 0.118768 & 0.009896 & 0.000175 & -0.000140 & -0.000036 & -0.000006 & -0.000001 \\ 0.056880 & 0.111074 & 0.125435 & 0.110102 & 0.079563 & 0.045702 & 0.016357 & -0.004594 \\ -1.834009 & -2.195361 & -1.935505 & -1.398928 & -0.803518 & -0.287570 & 0.080768 & - \\ 0.755749 & 1.149915 & 1.172910 & 0.960667 & 0.646683 & 0.331603 & - & - \\ -0.324529 & -0.496643 & -0.508376 & -0.417563 & -0.281975 & - & - & - \\ -0.008791 & -0.014518 & -0.015529 & -0.181602 & - & - & - & - \\ -0.121031 & -0.199868 & -0.213785 & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & - & - & - & - & - & - \end{pmatrix}.$$

ДПФ объекта после сокращения совпадающих нулей и полюсов примет вид:

$$G(z) = \frac{0.056880z^{-1} + 0.024814z^{-2}}{1 - 1.413843z^{-1} + 0.606529z^{-2}}. \quad (12)$$

Полюса ДПФ соответствуют полюсам НПФ $s_{1,2}^n = -0.5 \pm i0.86603$. Нуль $z^H = -0.436259$ отсутствует в s-плоскости.

Таким образом, ДПФ (7), (9), (11), (12), полученные при различных входных воздействиях, совпадают по структуре и параметрам (нули с абсолютной погрешностью 10^{-2} , полюса с абсолютной погрешностью 10^{-4}). Аналогичные исследования были проведены для объектов с другими функциональными свойствами и при различных входных воздействиях и варьировании шага дискретизации. На основании данных исследований можно сделать вывод. Модель в форме НПФ обладает свойством инвариантности к изменению входного воздействия, т.е. если $x_1(t) \neq x_2(t)$, а $y_1(t)$, $y_2(t)$ – соответствующие реакции объекта, то справедливо соотношение:

$$G(s) = \frac{R_{xy}^1(s)}{R_{xx}^1(s)} = \frac{R_{xy}^2(s)}{R_{xx}^2(s)}, \quad (13)$$

где $R_{xy}^1(s)$ – преобразование Лапласа взаимной корреляционной функции вход-выходного процессов $x_1(t)$ и $y_1(t)$;

$R_{xx}^1(s)$ – преобразование Лапласа корреляционной функции входного процесса $x_1(t)$;

$R_{xy}^2(s)$ – преобразование Лапласа взаимной корреляционной функции вход-выходного процессов $x_2(t)$ и $y_2(t)$;

$R_{xx}^2(s)$ – преобразование Лапласа корреляционной функции входного процесса $x_2(t)$.

Подобное соотношение с использованием измерений через равноотстоящие промежутки времени входных процессов $x_1(n\Delta t) \neq x_2(n\Delta t)$ и соответствующих реакций $y_1(n\Delta t)$, $y_2(n\Delta t)$, (Δt – шаг дискретизации) для ДПФ так же выполняется:

$$G(z) = \frac{Y_1(z)}{X_1(z)} = \frac{Y_2(z)}{X_2(z)} \quad (14)$$

или

$$G(z) = \frac{R_{xy}^1(z)}{R_{xx}^1(z)} = \frac{R_{xy}^2(z)}{R_{xx}^2(z)}. \quad (15)$$

Для объектов с детерминированным входным воздействием в отличие от объектов со случайным воздействием соотношение (14) в дискретном случае не выполняется. Совпадение дискретных моделей стохастического объекта при различных входных воздействиях обусловлено импульсной природой корреляционной функции входного воздействия.

Библиографический список

1. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с., 1974. – Вып. 2. – 199 с.
2. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация систем: Анализ динамических структур. — М.: МГИУ, 2008. – 160 с.
3. Карташов, В. Я. Идентификация стохастических объектов: учеб. пособие / В. Я. Карташов, М. А. Новосельцева; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». – 2-е изд. – дополн. – Кемерово, 2010. – 108 с.
4. Карташов, В. Я. Непрерывные дроби и их приложения к задачам технической кибернетики: учебное пособие / В.Я. Карташов, С.Г. Гутова, Кемеровский государственный университет – Кемерово, 2013 г. – 138 с.
5. Кашьяп, Р. Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р. Л. Кашьяп, А. Р. Рао. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
6. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
7. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 744 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАСЫЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Алтемерова О.А., Карташов В.Я.

*Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия*

В современных системах управления, объединяющих цифровые устройства и аналоговые элементы, значимой для работоспособности и эффективности проблемой является учет особенностей цифровых регуляторов и исполнительных механизмов. Это связано с тем, что их динамика может фактически доминировать над другими характеристиками объекта управления. Если, например, регулятор для достижения точности включает интегрирующий элемент, то это приводит к потенциальной неустойчивости, появлению «залипания» или «насыщения» интегратора. Так как исполнительный механизм – нелинейный элемент с ограничениями на диапазон выходного сигнала и изменения его по скорости, то сигнал на выходе интегратора может принять большое значение, что затрудняет возвращение его в нормальное состояние.

Принципиально широко используются следующие потенциальные меры для смягчения недостатков исполнительных механизмов [3, 4, 6]: 1) применяют математическое моделирование исполнительного механизма, однако, возникают сложности построения реальных моделей трения, автоколебаний и т. п.; 2) используют контур обратной (положительной или отрицательной) связи, охватывающий исполнительный механизм, применив возможности систем каскадного управления, что, в свою очередь, предъявляет существенные требования к точности измерительной системы; 3) в конечном случае, прибегают к замене исполнительного механизма, если другие способы не приводят к положительному эффекту.

В данной работе рассматриваются возможности цифровых регуляторов, спроектированных на основе решения полиномиальных уравнений [2]. В [5] обосновывается утверждение о том, что при переходе от линейной аналоговой модели объекта к цифровому ее представлению период дискретизации Δt может принимать значения из интервала $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, включающего большие значения Δt . Этот интервал порождается свойствами согласованного Z-преобразования и алгоритмами теории непрерывных дробей при определении дискретных передаточных функций. При этом учитываются два фактора при проектировании оптимального управляющего алгоритма: 1) период дискретизации и 2) степень полинома, учитывающий ограниченное управление. Основной задачей данной работы является рассмотрение влияния этих факторов в отдельности и их комбинации при учете ограничений на управляющие воздействия.

На первом этапе проектирования оптимальной цифровой системы управления необходимо перейти от непрерывного объекта к дискретной модели в форме передаточной функции (ДПФ) на основе отношения эквивалентности между дискретными моделями одного и того же непрерывного объекта, справедливый для выбора значений периода дискретизации $\Delta t \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$. При этом период дискретизации изменяется в достаточно больших пределах, что позволяет реализовать управление в реальных объектах с учетом ограничений на управляющие воздействия. Представим этот этап в виде следующего алгоритма:

1) Считаем, что непрерывный объект представлен непрерывной передаточной функцией (НПФ):

$$G(s) = K \cdot \frac{\sum_{i=1}^m (s - s_i^H)}{\sum_{j=1}^n (s - s_j^H)},$$

где K – коэффициент усиления;

s_i^h ($i = \overline{1, m}$) – нули и s_j^n ($j = \overline{1, n}$) – полюсы $G(s)$.

2) Задаем некоторое входное воздействие $x(t)$ и находим реакцию $y(t)$ объекта по таблице обратного преобразования Лапласа.

3) Выбираем шаг дискретизации и измеряем значения выходной переменной в моменты времени $\{n\Delta t\}_0^\infty$, которые являются исходной информацией для решения задачи SP-идентификации [5].

4) По данным измерениям вход-выходных переменных составляем матрицу модифицированного алгоритма Висковатова [5]. С появлением в ней нулевой строки получаем конечную правильную С-дробь, которую затем сворачиваем в дробно-рациональную функцию $G(z)$.

На втором этапе с помощью теории полиномиальных уравнений проектируем цифровой регулятор с учетом наложенных ограничений на величины управляющих воздействий в замкнутой системе управления. Опишем второй этап в виде алгоритма:

Задаем желаемый процесс движения системы в виде ДПФ:

$$X(q) = \frac{A(q)}{B(q)},$$

где $A(q)$ и $B(q)$ – заданные полиномы от оператора $q = e^{-s\Delta t}$, причем степени $\deg A(q) < \deg B(q)$.

Будем искать управление $u(n)$ объектом с передаточной функцией, полученной на первом этапе, в виде:

$$G(q) = \frac{P(q)}{S(q)} = \frac{\sum_{i=1}^k p_i q^i}{1 + \sum_{j=1}^n s_j q^j}, \quad k \leq n, \quad (1)$$

где $P(q)$ и $Q(q)$ – заданные полиномы от q .

Желая получить конечный переходный процесс, будем искать программу управления в форме ДПФ вида [2]:

$$W(q) = \frac{S(q)\theta^0(q)}{B(q)\pi^0(q)}, \quad (2)$$

где $\theta^0(q)$ и $\pi^0(q)$ – минимальные полиномы, удовлетворяющие полиномиальному уравнению:

$$P(q)\theta^0(q) + B(q)\pi^0(q) = A(q). \quad (3)$$

Так как π -уравнение (3) является правильным ($\deg P(q) + \deg B(q) > \deg A(q)$), оно имеет единственное минимальное решение с выбором следующих степеней искомого полинома: $\deg \theta^0(q) = \deg B(q) - 1$, $\deg \pi^0(q) = \deg P(q) - 1$. Это решение дает кратчайший переходный процесс длительности [2]

$$t_{\min} = \deg P(q) \cdot \Delta t. \quad (4)$$

Соответствующее уравнение управления имеет вид: $u^0 = \frac{S(q)\theta^0(q)}{B(q)}$.

Принимая во внимание ограничения $|u_i| \leq r$, введем произвольный полином $\xi(q)$ в решение π -уравнения (3):

$$\theta(q) = \theta^0(q) + B(q)\xi(q), \quad \pi(q) = \pi^0(q) - P(q)\xi(q),$$

где $\{\theta^0(q), \pi^0(q)\}$ – минимальное решение;

$\xi(q)$ – полином, учитывающий ограничения на управляющие воздействия.

Соответствующее управление, обеспечивающее получение конечного переходного процесса, имеет вид

$$u = \frac{S(q)}{B(q)} \theta^0(q) + S(q) \xi(q) = u^0 + S(q) \xi(q)$$

Для того, чтобы управляющие воздействия u_i были ограниченными, прежде всего необходимо обеспечить устойчивость процесса u , что достигается при условии устойчивости полинома $B(q)$. Величина $\deg \xi(q) = m$ однозначно определяет длительность переходного процесса $e = \pi^0(q) - P(q) \xi(q)$. При заданной степени m полинома $\xi(q)$, получим систему линейных неравенств (СЛН) относительно коэффициентов $\xi(q)$:

$$\left| u_i^0(q) + \sum_{k=0}^m s_{i-k} \xi_k \right| \leq r, \quad i=0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Для того, чтобы $u_i^0 \rightarrow 0$ при $i \rightarrow \infty$, будем использовать разности (приращения) $\Delta u_i = u_{i+1} - u_i$, что позволяет получить конечную СЛН (5).

Эта система решается методом центра неопределенности [1]. Из области неопределенности $\xi_{\inf} \leq \xi \leq \xi_{\sup}$, каждая точка внутри которой достаточно хорошо описывает результаты измерений, находится точечная оценка значения ξ , равная $\hat{\xi} = \frac{\xi_{\inf} + \xi_{\sup}}{2}$.

Длительность переходного процесса определяется выражением:

$$t_{\min} = (1 + n + m) \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где n – порядок объекта $G(q)$, m – степень полинома $\xi(q)$.

Как видно из формулы (6) любое ограничение приводит к удлинению переходного процесса в системе управления, то есть чем больше значение параметра m , тем длиннее переходный процесс. С другой стороны, увеличение периода дискретизации оказывает свое положительное влияние на сокращение перемещений исполнительного механизма (реверсов).

Рассмотрим в качестве примера аperiodический объект второго порядка с НПФ вида:

$$G(s) = \frac{1}{(0,1s + 1)(s + 1)}$$

Пример иллюстрирует наличие большого начального воздействия на объект при входном единичном ступенчатом воздействии. На рисунке 1 показана выходная величина регулятора замкнутой системы управления.

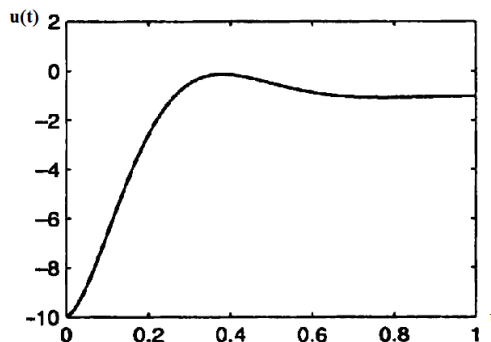


Рисунок 6 – График уравнения выхода регулятора $u(t)$

Для устранения эффекта насыщения построим регулятор при введении ограничений

$|u_i| \leq 1$.

На первом этапе найдены ДПФ объекта управления при вариации периода дискретизации $\Delta t = 0,5; 0,75; 1$ с.:

$$G(z;0,5) = \frac{0,32683z^{-1} + 0,06399z^{-2}}{1 - 0,61327z^{-1} + 0,00409z^{-2}},$$

$$G(z;0,75) = \frac{0,47521z^{-1} + 0,05213z^{-2}}{1 - 0,47292z^{-1} + 0,00026z^{-2}},$$

$$G(z;1) = \frac{0,59125z^{-1} + 0,04084z^{-2}}{1 - 0,36792z^{-1} + 0,00002z^{-2}}.$$

Так, при периоде дискретизации $\Delta t = 0,5$ с. решение СЛН существует при нулевой степени полинома $\xi(q) = \xi_0$. Соответствующая СЛН имеет область решения в виде следующих интервальных коэффициентов полинома $\xi(q)$:

$$-1,59254 \leq \xi_0 \leq -1,55873.$$

Точечная оценка полинома $\xi(q) = -1,57564$. Подставим его в общее уравнение управления, реализованное относительно приращения управляющей переменной:

$$\Delta u(n) = 0,98309 e(n) + 0,97273 e(n-1) - 0,96227 e(n-3) + 0,00644 e(n-4).$$

Заметим, что на рисунке 2 управляющее воздействие на первом, втором и третьем тактах времени находится в зоне «насыщения».

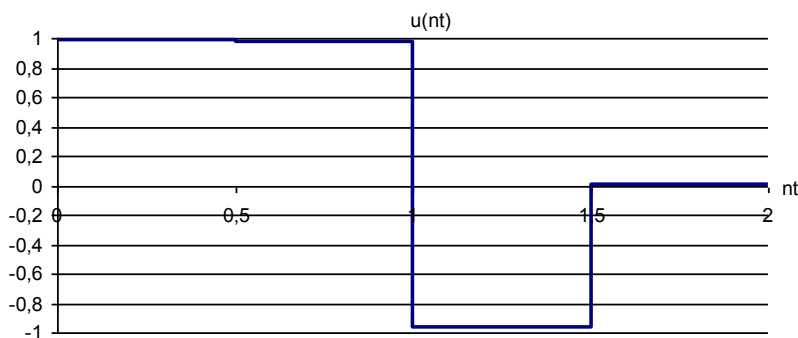


Рисунок 7 – Ограниченное управление при $\Delta t = 0,5$ с

Аналогичным образом, получены уравнения управления, реализованное относительно приращения управляющей переменной, при изменении периода дискретизации:

$$\Delta u(n) = 0,80426 e(n) + 0,71169 e(n-1) - 0,51623 e(n-3) + 0,00028 e(n-4) \text{ при } \Delta t = 0,75 \text{ с.}$$

$$\Delta u(n) = 0,71275 e(n) + 0,60706 e(n-1) - 0,31982 e(n-3) + 0,000014 e(n-4) \text{ при } \Delta t = 1 \text{ с.}$$

Заметим, что при увеличении периода дискретизации на рисунке 3 наблюдается снижение значений коэффициентов от границ насыщения исполнительного механизма.

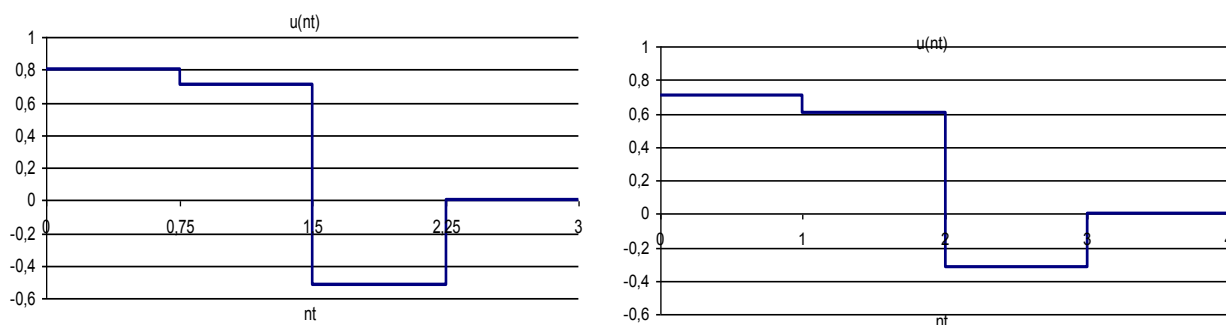


Рисунок 8 – Ограниченное управление при $\Delta t = 0,75$ с и 1 с

Теория полиномиальных уравнений позволяет получать оптимальные регуляторы, в которых критерием оптимальности является быстроедействие. В то же время увеличение периода дискретизации Δt в указанном интервале позволяет получить значения управляющих воздействий $|u(t_i)| \leq 1$ в допустимых пределах.

Таким образом, при проектировании систем управления необходимо найти компромисс между временем управления и ограничениями на реализацию управляющих и других воздействий с помощью вариации периода дискретизации, при этом дополнительно следует оценить допустимую степень робастности системы управления.

Библиографический список

1. Белов, В. М. Теоретические и прикладные аспекты метода центра неопределенности / В. М. Белов, В. А. Суханов, Ф. Г. Унгер. – Новосибирск: Наука, 1995. – 144 с.
2. Волгин, Л. Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Л. Н. Волгин. – М.: Наука, 1986. – 240с.
3. Гудвин, Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ, 2004. – 911 с.
4. Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
5. Карташов, В. Я. Анализ и исследование аппроксимационных свойств непрерывных дробей при решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов / В. Я. Карташов // Препринт № 22. – Барнаул, 1996. – 40 с.
6. Острем, К. Системы управления с ЭВМ / К. Острем, Б. Виттенмарк. – М.: Мир, 1987. – 475 с.

КАЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ РИСКА

Борковская В.Г.¹, Буркова И.В.²

¹*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,*

²*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Россия*

В последнее время большое распространение (особенно в практике) получили качественные оценки риска, включая оценки вероятности, ущерба и степени влияния. Это объясняется тем, что вероятностные оценки требуют статистики или, во всяком случае, определенной повторяемости событий. Однако, поскольку любой проект является по определению уникальным, то рассчитывать на наличие статистических данных не приходится. В лучшем случае можно использовать понятие субъективной вероятности, но это не что иное, как экспертные оценки. Поскольку экспертные оценки являются, как правило, достаточно грубыми, представляется естественным использовать качественные оценки вероятности, ущерба и степени влияния. Наиболее распространена трехбалльная шкала оценок вероятности и ущерба: малый риск (1), средний риск (2) и высокий риск (3).

Малый риск считается фактически не влияющим на параметры проекта, и его, как правило, не учитывают. Заметим, что за качественными оценками скрываются их количественные аналоги. Так, например, вероятность рискованного события от 0 до 0,05 можно отнести к малому риску, от 0,05 до 0,3 к среднему, а выше 0,3 – к высокому. Аналогично, если иметь в виду временные риски, то отклонения порядка 5 % от продолжительности проекта можно отнести к малым рискам, от 5 до 30 % – к средним, а выше 30 % – к высоким. Эти границы сегодня также определяются экспертным путем и во многом зависят от условий выполнения проекта (жесткости санкций за срыв сроков завершения проекта, за превышение бюджета и т.д.)

Умея оценивать риски определенных работ, перейдем к оценке рисков проекта в целом. По-прежнему используем трехбалльную шкалу, хотя можно взять любую. В основном оцениваются риски превышения срока завершения проекта и сроков завершения ключевых

событий (такие риски будем называть временными), риски превышения бюджета (стоимостные риски) и риски потери качества. Ограничимся оценкой стоимостных рисков. Будем считать риски работ проекта независимыми случайными событиями. Поскольку стоимость (бюджет) проекта складывается из стоимостей определенных работ, то и степень влияния проекта равна сумме степеней влияния отдельных работ проекта. Для перевода этой суммы в качественную шкалу также применяем нелинейное преобразование. Определяем граничные уровни стоимости. Например, q_c равно 20 %-ому превышению стоимости проекта, а q_b – 60 %-ому превышению. Умея оценивать риск проекта (точнее, степень влияния риска), можно поставить задачи уменьшения степени влияния за счет проведения мероприятий по снижению риска. Рассмотрим одну из таких задач. Пусть риск проекта имеет высокую степень влияния (иногда будем говорить, что проект имеет высокий риск). Обозначим $S_{i2}, S_{i3}^n, S_{i3}^i, i = \overline{1, n}, j = 2, 3$ минимальные затраты, требуемые для уменьшения степени влияния i -ой работы до низкого уровня, если степень влияния была равна 2 (средний уровень), до среднего или низкого уровня, если степень влияния работы была равна 3 (высокий уровень).

Задача. Определить вариант снижения риска для каждой работы $i \in Q$, так, чтобы риск проекта был равен среднему (низкому) с минимальными затратами.

В работе предложен алгоритм решения поставленной задачи путем сведения ее к задаче назначения.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПИСАНИЙ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Ляпунцова Е.В., Шихалиев Р.С.

*Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ),
г. Москва, Россия*

Рассмотрим вычислительную сеть из n «активных» вершин (вершины, в которых выполняются задачи), m входных вершин и m выходных вершин (по числу решаемых задач). Каждой задаче i соответствует частичная подсеть G_i , такая, что каждый путь частичная подсеть, соединяющий вход $i_{вх}$ с выходом $i_{вых}$ соответствует некоторому способу (алгоритму) решения i -ой задачи. И наоборот, каждому способу решения i -ой задачи соответствует некоторый путь в G_i , соединяющий вход с выходом.

Обозначим τ_{ij} время решения задачи i в j -ом узле. Одновременно в каждом узле может решаться только одна задача. Поэтому может возникнуть конфликтная ситуация, когда в момент прихода в вершину некоторой задачи, эта вершина занята решением некоторой другой задачи. Для разрешения конфликта определим приоритеты задач. Это приоритеты задаются перестановкой $D = (i_1, i_2, \dots, i_m)$, то есть работа i_j имеет приоритет перед работой i_k , если $j < k$. Задание приоритетов позволяет определить расписание выполнения задач в сетевых структурах.

Рассмотрим три постановки задачи.

Задача 1. Определить приоритеты π (то есть перестановку m чисел), при которых время решения всех задач

$$T = \max_i T_i \quad (1)$$

минимально.

Задача 2. Определить приоритеты π , при которых максимальное отклонение времен решения задач от требуемых

$$\Delta = \max_i (T_i - \Theta_i) \quad (2)$$

минимально.

Задача 3. Определить приоритеты π , при которых величина потерь при превышении времени выполнения задач

$$S = \sum_{i=1}^n a_i 1[T_i - \Theta_i]^* (T_i - \Theta_i) \quad (3)$$

минимальна ($1[x] = 0$, если $x \leq 0$, $1[x] = 1$, если $x > 0$).

Предложены алгоритмы решения задач на основе метода локальной оптимизации.

ЗАДАЧА РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ В УЗЛАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Ляпунцова Е.В., Шихалиев М.С.

*Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ),
г. Москва, Россия*

Рассматривается вычислительная сеть, состоящая из m узлов, на которые поступают n требований. Задача заключается в распределении требований по узлам, минимизирующем максимальную относительную загрузку узлов по памяти.

Обозначим b_j – объем памяти j -го требования, M_i – максимальный объем памяти i -го узла, $x_{ij} = 1$, если j -е требование размещается в i -м узле, $x_{ij} = 0$ в противном случае,

$$Z_i = \sum_j x_{ij} b_j$$

– загрузка i -го узла. Без ограничения общности можно считать, что b_j – целые числа.

Постановка задачи. Определить x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, минимизирующие

$$F = \max_i \frac{Z_i}{M_i} \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Обозначим $\mu = \max_i \frac{Z_i}{M_i}$. В этом случае задача принимает вид

$$\mu \rightarrow \min$$

при ограничениях (2) и

$$\sum_j x_{ij} b_j \leq \mu M_i, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Для решения этой задачи применяем ветвей и границ с получением оценки на основе метода сетевого программирования. Однако при больших n этот метод приводит к большому объему вычислений, поскольку получение оценок требует на каждом шаге решения систем линейных неравенств. Для этого случая предложен эвристический алгоритм решения.

К ОЦЕНКЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА СДВИГА РАБОТ (TSIA) В ЗАДАЧЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Добрынин А.С., Кулаков С.М., Койнов Р.С.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация: Статья рассматривает алгоритм (TSIA – Time Shift Iteration Algorithm), который может быть использован при построении расписаний с запретом на проведение работ в определенные отрезки времени. Целесообразность подобного планирования может быть обусловлена многими факторами, в частности, необходимостью привязки к периодическим интервалам времени проведения работ, рабочей неделе, учету выходных, праздников и т.д. Известно, что большинство таких задач относится к классу NP-трудных [1], то есть для них не существует «быстрого» алгоритма решения на ЭВМ, при существенном приращении размерности. Рассматривается тестовый стенд (бенчмарк), для определения скоростных (временных) характеристик алгоритма сдвига работ и вопросы его оптимизации в параллельных средах.

Постановка задачи и описание алгоритма сдвига работ

Содержательно, рассматривается задача сетевого планирования, в которой имеется сетевой график (граф) работ, для каждой из которых задана нормативная длительность; также имеется «оконная» матрица времени выполнения работ и времени простоев (кратко, оконная матрица работ и простоев – ОМРП). Требуется построить расписание, то есть определить моменты начала и окончания каждой работы с учетом временных ограничений на их размещение и достижения минимальной длительности всех работ.

Решение задачи осуществляется в два этапа. На первом из них выполняется построение диаграммы Ганта [3] без учета «оконной» матрицы работ и простоев. На втором этапе, с помощью алгоритма сдвига работ (TSIA), производится построение прерывистого расписания работ (рисунок 1).

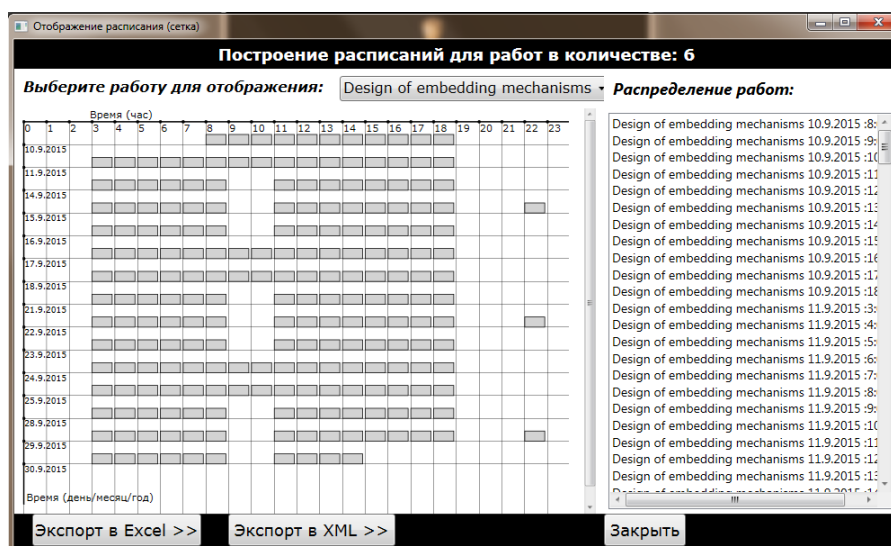


Рисунок 1 – Пример работы алгоритма TSIA

Представим формализованную постановку задачи построения расписаний в условиях жестких (hard) временных ограничений.

Дано:

1) Вектор работ (процессов) \overline{W} , для которых справедливы принципы:

а) композиции (агрегирования), когда отдельная работа (процесс) может включать в себя перечень более простых работ $W_i \equiv \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iN}\}$, или когда простые работы могут укрупняться;

б) связности, когда для двух различных работ (процессов) w_i и w_j справедливо соотношение:

$$\gamma_{w_i, w_j} = \begin{cases} 1, & \text{если } w_i \rightarrow w_j, \\ -1, & \text{если } w_j \rightarrow w_i, \\ 0 & \text{если } w_i \text{ и } w_j \text{ независимы;} \end{cases} \quad (1)$$

указатели связности γ_{w_i, w_j} формируются в соответствии со стратегией детерминизма и (или) согласования с учетом уникальности проекта (комплекса работ).

2) Орграф $\overline{G} = (\overline{V}, \overline{E} \equiv \overline{W})$, который характеризует последовательность выполнения работ $w_i \equiv e_i \in \overline{E}$. Формируется на основе указателей связности (1).

3) Минимальный интервал времени ΔT (временной слот) представляющий собой отрезок непрерывного времени $[t, t + \Delta T]$, кратный суточным, сменным и часовым отрезкам времени.

4) Жесткие ограничения, связанные с периодичностью выполнения работ исполнителями, представленные в виде матрицы ОМРП. В задачах построения производственных и иных расписаний целесообразно использовать интерпретацию, когда известно, что производственные процессы четко привязаны к дням недели.

Критерий оптимальности расписания: совокупное время выполнения всех работ (процессов) проекта:

$$Q = [t^{OK}(w_N) - t^H(w_1)], \quad (2)$$

где $t^{OK}(w_N)$ – момент окончания выполнения последней (N-ой) работы; $t^H(w_1)$ – момент начала выполнения первой работы w_1 .

Требуется:

а) построить непрерывное во времени расписание проведения работ (диаграмму Ганта) с учетом минимизации критерия Q ;

б) построить дискретное во времени расписание работ с учетом совокупности жестких временных ограничений и минимизации критерия Q .

Алгоритм сдвига (TSIA), используемый для решения подзадачи б) подробно описан в публикациях [4 – 6]. В основе работы алгоритма использовано понятие *левого* и *правого* временного сдвига, которое будет означать единичное приращение минимальной компоненты временного кортежа в сторону уменьшения или увеличения времени. Так, для кортежа $K[d \in Day, h \in Hour, m \in Min]$, сдвигом будет кортеж $K[d, h, m + 1]$. Рассматриваемый в статье алгоритм сдвига (назначения) работ использует модель жестких ограничений, представленных выражением (3).

$$M[d, h] = \begin{cases} 1, & \text{размещение элемента работы } w_i \text{ на интервале } [\cdot] \text{ допустимо,} \\ 0\text{-простой,} & \text{размещение работы не допускается} \end{cases} \quad (3)$$

Алгоритм сдвига опирается на следующие ключевые предпосылки:

– Использование двухкомпонентной, двунаправленной временной итерационной процедуры по каждой работе w_i орграфа \overline{G} .

– Применение механизма сдвига, влияющего непосредственно на окрестность работ

$\overline{W}_N \in \overline{W}$, расположенных справа относительно текущей итерационной работы w_i в орграфе \overline{G} , см. рисунок 2.

– Реализация механизма временной разметки работ с использованием списка запретов.

Опираясь на описанные предпосылки, сформулируем алгоритм построения расписаний, пригодный для построения расписаний для сложных практических случаев временных ограничений, при условии их однородности. Блок схема алгоритма представлена на рисунке 3. Подробное описание алгоритма приведено в работах [4 – 6].

Укрупненно основные этапы алгоритма сдвига работ (TSIA), представлены ниже:

– Сортировка вектора работ \overline{W} по возрастанию даты начала работы $beginDate$ w_i для непрерывного расписания (диаграммы Ганта, построенной на предыдущем шаге).

– Определение даты начала проекта $prjDate$ как $w_0 \{ \dots, beginDate, \dots \}$

– Формирование списка запретов $tabooList_i$ для каждой отдельной работы w_i . В список запретов попадают временные кортежи $K[d, h, m]$, по которым осуществляется сдвиг работ подмножества \overline{W}_n , в силу невозможности распределения на $t + \Delta T$.

– Двухнаправленная итерационная процедура по каждой работе $w_i \in \overline{W}, i = 0..(N-1)$; выполняем действия по формированию кортежей ее размещения во времени. Формирование вектора кортежей \overline{LW} , каждый элемент которого содержит идентификатор работы и дату начала разметки для временного сдвига.

– Визуализация вектора кортежей \overline{LW} с использованием механизмов рендеринга DirectX, WPF, см. рисунок 1.

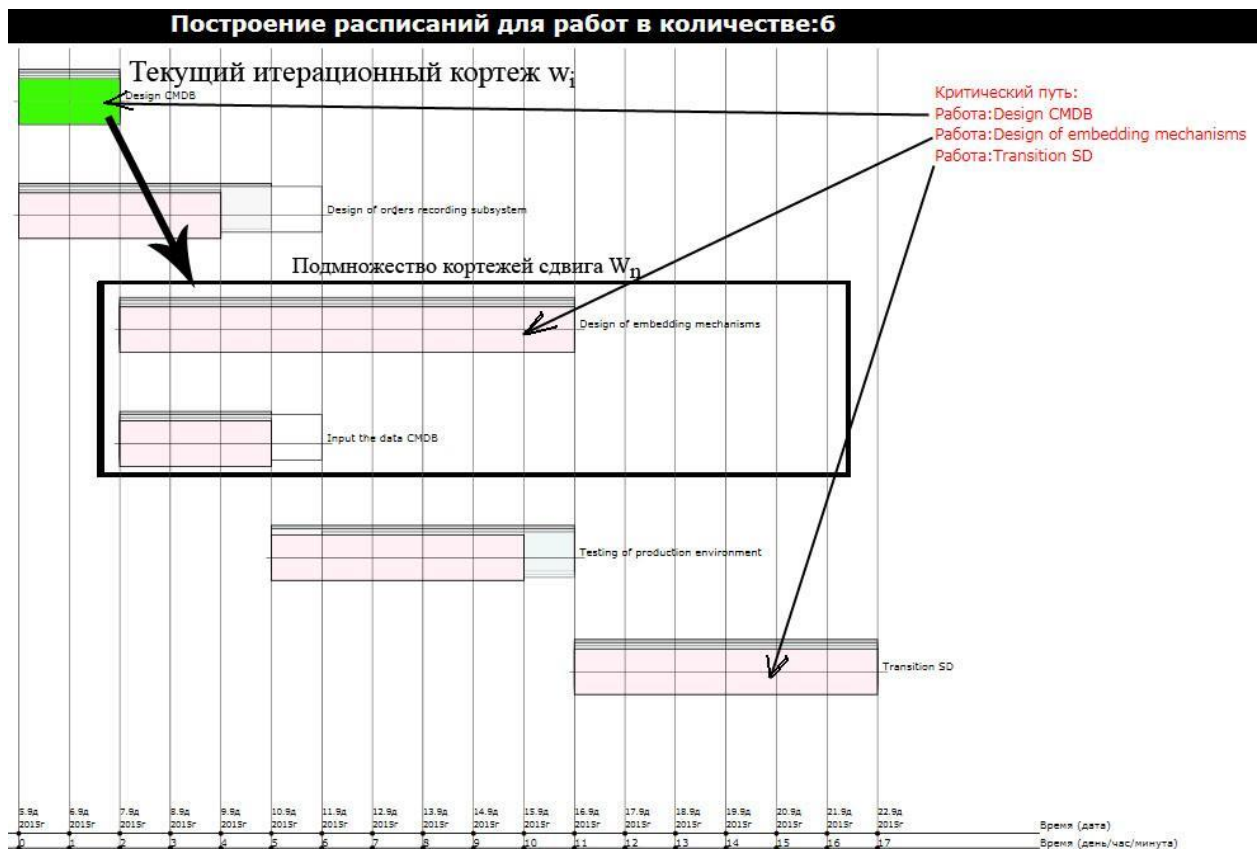


Рисунок 2 – Подмножества сдвига при итерационном движении по w_i

(входных данных) алгоритма рассчитывается как функция от критического пути на графе (общей продолжительности проекта для непрерывного случая) и режима работы алгоритма. Конфигурация тестового стенда, используемого для проведения исследований: компьютер Intel Core 2 Quad CPU Q8300, 2,5 Гц, 4 Гб оперативной памяти, операционная система Windows 7, DirectX 11, Microsoft .NET Framework 4.0, WPFExtensions. Вычислительная сложность алгоритма TSIA оценивалась для двух практических случаев:

– Проекты малой и средней размерности входных данных с общей длительностью работ по критическому пути на графе не более одного года, т.н. «средний случай».

– Проекты большой размерности, с общей длительностью работ по критическому пути на графе более одного года, т.н. «худший случай».

Оценка сложности вычислений производилась в трех режимах работы алгоритма:

1) Режим «слабой нагрузки» алгоритма. Количество временных слотов запрета распределения работ на временной сетке составляет от 0 до 33 %. Незначительный прирост итераций, значение коэффициента нагрузки $\beta_i = 1$.

2) Режим «средней нагрузки» алгоритма. Количество временных слотов запрета распределения работ на временной сетке составляет от 33 до 66 %. Прогнозируемый прирост итераций, более чем в 2 раза, для 50 % случая. Значение коэффициента нагрузки $\beta_i = 3$.

3) Режим «высокой нагрузки» алгоритма. Количество временных слотов запрета распределения работ на временной сетке составляет от 66 до 95 %. Прогнозируемый прирост итераций более чем в 6 – 9 раз, для худших случаев. Значение коэффициента нагрузки $\beta_i = 6 +$.

Оцениваемые тестовые структуры графов для «среднего случая» (критический путь до одного года) приведены на рисунке 4.

Тестовая структура для «худшего» случая (рисунок 5), представляет собой дорожную карту Румынии (взят из книги [7], в которой вместо расстояний между населенными пунктами используются временные характеристики работ, граф содержит 20 узлов, 27 работ, общая продолжительность критического пути составляет 1169 дней порядка 3,2 года).

Оценка объема входных данных (сложности вычислений) для алгоритма TSIA определяется выражением 4.

$$O_i = T_{crit_i} \cdot 24 \cdot \beta_i \quad (4)$$

где O_i – примерный прогнозируемый объем машинных вычислений (итераций) для i -й тестовой структуры, как функция от критического пути, выражение $[T_{crit_i} \cdot 24]$ определяет количество обрабатываемых алгоритмом таймслотов только по критическому пути графа, при условии, что во всех тестовых структурах размерность таймслота (ΔT) равна одному часу; параметр β_i – оценивает увеличение количества итераций, а также затраты машинного времени на дополнительные операции, такие как внесение таймслота в список запретов $[tabooList]$, при «нагруженных» режимах работы алгоритма. Возможна модификация выражения (4) для случаев полной оценки обработки алгоритмом всех работ (таймслотов) в графе, см. выражение (5).

$$O_i = 24 \cdot \beta_i \cdot \sum_{w=1}^N T_{w,i} \quad (5)$$

где $T_{w,i}$ – длительность w -работы, i -й тестовой структуры. Очевидно, что выражение (5) дает более точный результат по прогнозируемому количеству итераций, однако, для упрощения дальнейших вычислений впоследствии будем использовать выражение (4). Замеры машинного времени производятся непосредственно в программном коде на языке программирования C# с использованием класса *Stopwatch* из пространства имен *System.Diagnostics* и коде модульных тестов (UnitTests).

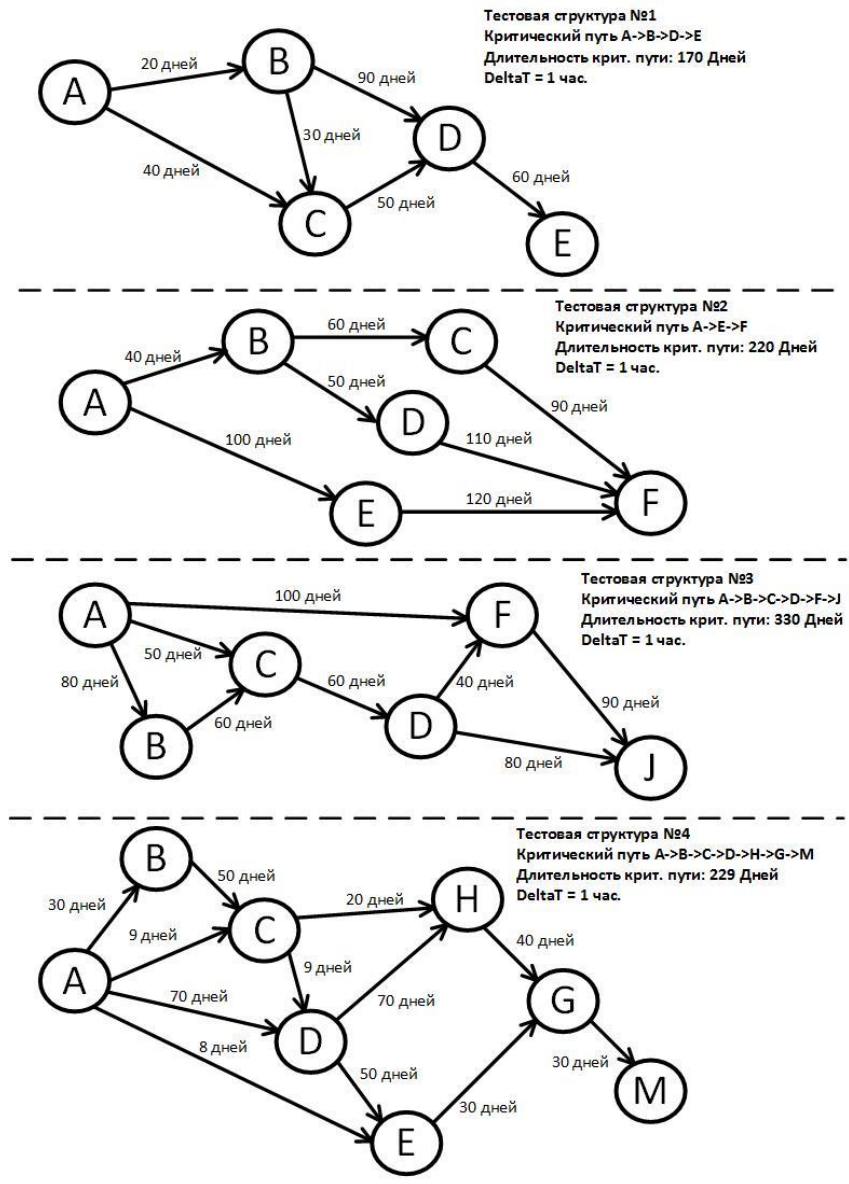


Рисунок 4 – Тестовые структуры для «среднего» случая (A,B,C,D,..– произвольные события или этапы проекта)

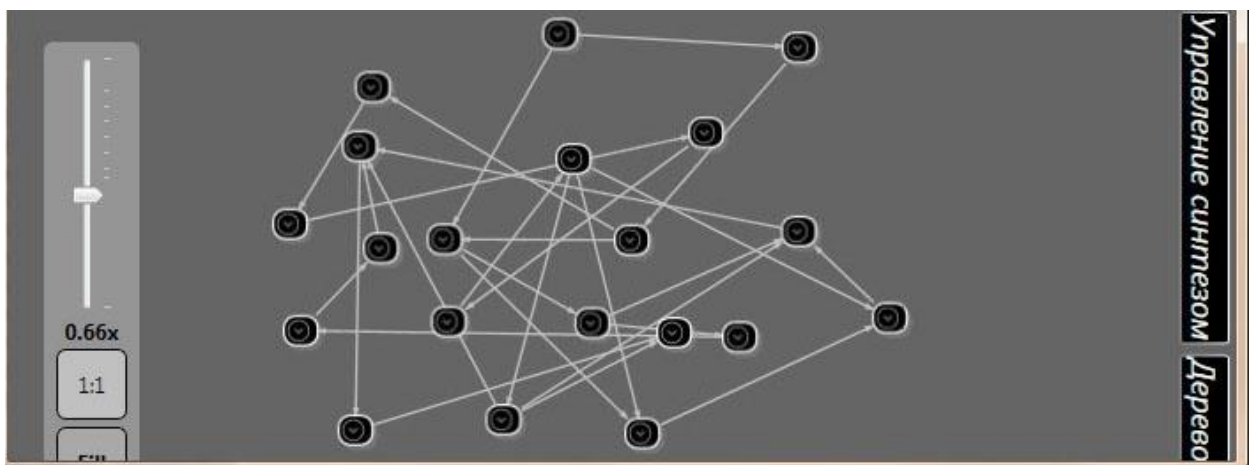


Рисунок 5 – Тестовая структура для «худшего» случая

Результаты тестирования

В ходе проведения комплексного тестирования производительности алгоритма были получены результаты для «среднего случая», представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты тестирования для среднего случая

| Граф | Слабая нагрузка | Средняя нагрузка | Высокая нагрузка |
|-------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Структура 1 | $O_1=4080$ $T_1=0,64$ с | $O_1=12240$ $T_1=4,48$ с | $O_1=24480$ $T_1=11,74$ с |
| Структура 2 | $O_2=5820$ $T_2=0,97$ с | $O_2=15840$ $T_2=6,58$ с | $O_2=31680$ $T_2=17,43$ с |
| Структура 3 | $O_3=7920$ $T_3=1,8$ с | $O_3=23760$ $T_3=15,44$ с | $O_3=47520$ $T_3=40,13$ с |
| Структура 4 | $O_4=5496$ $T_4=0.13$ с | $O_4=16488$ $T_4=0.98$ с | $O_4=32976$ $T_4=2.56$ с |

Хорошие временные результаты, показанные на четвертой тестовой структуре объясняются тем, что длительность части работ в четвертом графе, в том числе, не располагающихся на критическом пути (AC, CD, AE) меньше 10 дней, вследствие чего, общее количество итераций алгоритма TSIA резко снижается. Таким образом, любые проектные структуры, длительностью менее 1 года могут быть разрешены алгоритмом менее чем за один час машинных вычислений.

Исследование «худшего» случая, когда общая продолжительность проекта 1169 дней, представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты тестирования графа ИИ (худший случай)

| Граф | Слабая нагрузка | Средняя нагрузка | Высокая нагрузка |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| Граф ИИ | $O_1= 28056$ $T_1= 12,92$ с | $O_1=84186$ $T_1=5,41$ мин | $O_1=168336$ $T_1=1$ ч, 10 мин, 22 с |

Выводы и практические рекомендации

В ходе исследования вычислительной сложности алгоритма сдвига работ (TSIA) были сделаны следующие выводы:

а) Задача построения расписаний с ограничением на интервалы распределения работ является NP-трудной (возможны случаи расчетов, занимающих годы и века машинного времени).

б) Алгоритм TSIA способен решать задачи построения расписаний с ограничением на интервалы распределения работ любой практической сложности, от «худших» с точки зрения вычислений до «критических», за счет технических улучшений, например, увеличения размера окна ΔT до значений 2,4,6 часов (соответственно, падения объема машинных вычислений в 12 и более раз).

в) Рекомендуется использовать плавающий (изменяющийся) размер окна ΔT как функцию от продолжительности критического пути, с учетом изменяющего расчетного значения параметра O .

г) Целесообразно реализовать распараллеливание (выделение в отдельный поток вычислений) левой ветви алгоритма относительно пункта 7 (см. рисунок 3) в кластерной или многопроцессорной системе.

Библиографический список

1. Томас Х. Кормен и др. Глава 34. NP-полнота // Алгоритмы: построение и анализ =

- INTRODUCTION TO ALGORITHMS. – 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. – С. 1296. — ISBN 0-07-013151-1;
2. Роберт Седжвик. Алгоритмы на C++. Фундаментальные алгоритмы и структуры данных. 2 книги в одной ! = Algorithms in C++. – М.: «Вильямс», 2011. – 1056 с. – ISBN 978-5-8459-1650-1;
 3. Джесси Рассел, Рональд Кон. Диаграмма Ганта. – Книга по Требованию, 2012 год, 42 стр., ISBN: 978-5-5128-6250-6;
 4. Добрынин А.С. Алгоритмизация построения расписаний, учитывающих временные ограничения /Добрынин А.С., Койнов Р.С. Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2014. №4. С. 201-204;
 5. Добрынин А.С. Об одном алгоритме построения расписаний в условиях временных ограничений /Добрынин А.С., Койнов Р.С. Информационные системы и технологии. 2014. №10. С. 10 С. 77-80;
 6. Добрынин А.С. Формирование расписаний в задачах временного планирования /Добрынин А.С., Кулаков С.М., Койнов Р.С., Грачев А.В. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 3. С. 58-64.
 7. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2007. — 1410 с. — ISBN 5-8459-0887-2, 0-13-790395-2, 978-5-8459-0887-2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРГОВОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ВЫХОДА ЗА ЦЕНОВОЙ ЭКСТРЕМУМ

Милованов М.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В публикации проводится анализ торгового алгоритма на основе предыдущие ценовых экстремумов на графике. Дается характеристика системы и проводится её моделирование.

Существует целый ряд торговых алгоритмов, которые основываются на поведении цены вблизи экстремума. К этому классу относятся и пробойные торговые алгоритмы. Под пробоем будем понимать выход цены актива в текущий момент за экстремум на графике.

Рассмотрим следующую модель торгового алгоритма – простой пробой вчерашнего экстремума (минимума дня или максимума дня) (рисунок 1).

Для исследования данной модели возьмем период 01.01.2011-01.11.2014. В качестве временного интервала используем 5-минутный и 15-минутный таймфрейм. В роли исследуемого инструмента выступает фьючерс на индекс РТС (таблица 1).

Поскольку пробой может быть ложным, то учитывать его не стоит, в этом случае за экстремум принимаем экстремум, образованный в том числе в текущем дне. Рассмотрим данный расширенный вариант торгового алгоритма – пробой экстремума, образованного в предыдущем дне и обновление в текущем дне.

Можно заметить, что закрытие дня за уровнем пробоя случается только в среднем в одном случае из четырёх, в трёх случаях цена возвращается обратно. Соответственно, чтобы система не была убыточной необходимо иметь соотношение риска как минимум 1 к 3 [1].

Перейдём к непосредственному рассмотрению торгового алгоритма с учётом полученного соотношения для управления рисками.

Определим параметры входа в позицию:

– Вход в длинную позицию – пробой и закрытие свечи выше уровня максимума вчерашнего дня.

– Вход в короткую позицию – пробой и закрытие свечи ниже уровня минимума вчерашнего дня.



Рисунок 1 – Пробой минимума вчерашнего дня

Для управления рисками примем лимит потерь в сделке в 1.5 %. Фиксация прибыли должны быть больше риска в 3 раза. Временной интервал – 15 минут. Открытие сделки предполагаем только внутри дневной торговой сессии и ограничим с 11,00 до 17,00. Закрытие сделки внутри дня в 23,00 (рисунок 2). Проведем моделирование алгоритма с помощью пакетов MS Excel [2] и Wealth Lab.

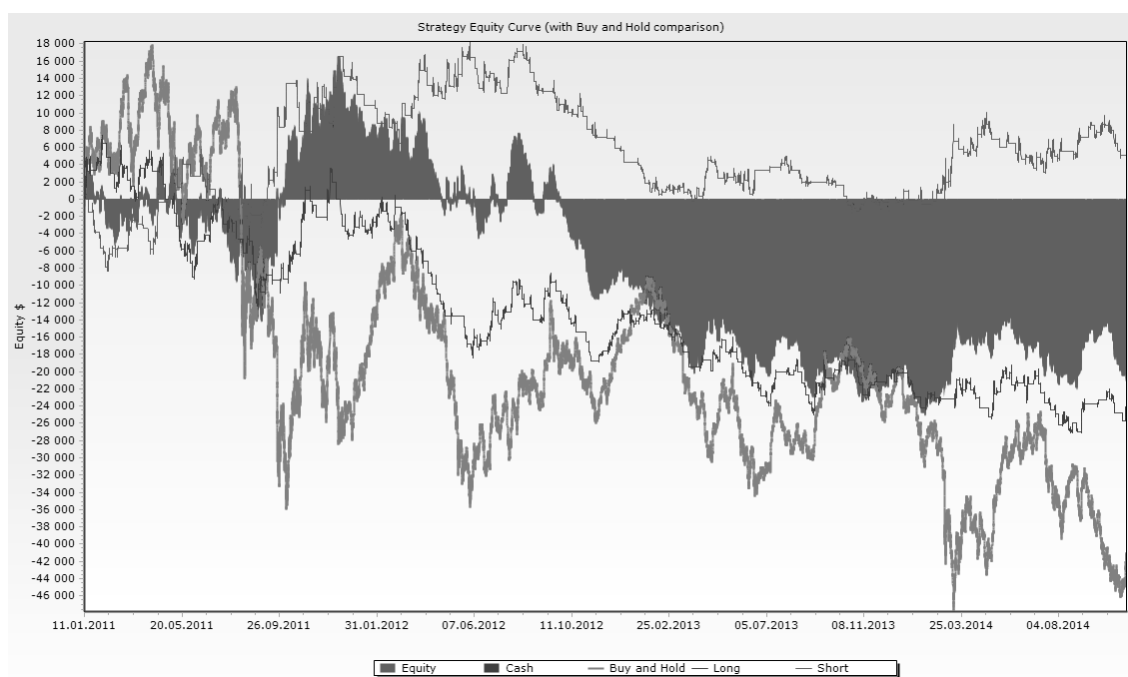


Рисунок 2 – Кривая доходности системы 2011-2015

Поскольку линию сопротивления/поддержки нельзя воспринимать как точную цену, примем данный уровень за диапазон. Т.е. в случае возврата цены обратно за уровень пробы, сделка будет закрыта [3].

Если внести один дополнительный параметр входа в данный торговый алгоритм как «Объем», то картина в 2011-2015 годах изменится (рисунок 3). А именно объем сделок на

свече входа в сделку должен быть как минимум в два раза больше, чем объем сделок на предыдущей свече. Это поведение можно объяснить тем, что многие игроки на рынке ставят отложенные заявки за (или под) уровень [4].

Таблица 1 – Статистика пробоев экстремумов

| Таймфрейм | Направление пробоя | Пробой и закрытие за уровнем | Пробой и закрытие возврат за уровень |
|-----------|--------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 5 минут | Пробой максимума | 244 | 1075 |
| 5 минут | Пробой минимума | 248 | 1041 |
| 15 минут | Пробой максимума | 244 | 640 |
| 15 минут | Пробой минимума | 251 | 598 |

Таблица 2 – Статистика пробоев экстремумов

| Таймфрейм | Направление пробоя | Пробой и закрытие за уровнем | Пробой и закрытие возврат за уровень |
|-----------|--------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 5 минут | Пробой максимума | 151 | 614 |
| 5 минут | Пробой минимума | 169 | 615 |
| 15 минут | Пробой максимума | 171 | 434 |
| 15 минут | Пробой минимума | 187 | 418 |

Таблица 3 – Статистика системы 2011-2015 с дополнительным условием объема

| Backtest Performance Report Range: 11.01.2011 to 01.11.2014 (53539 Bars) | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | All Trades | Long Trades | Short Trades | Buy & Hold |
| Net Profit | 16 833,00p. | 5 751,00p. | 11 082,00p. | -42 795,00p. |
| Profit per Bar | 1,00p. | 0,67p. | 1,33p. | -0,80p. |
| Total Commission | 0,00p. | 0,00p. | 0,00p. | 0,00p. |
| Number of Trades | 526 | 271 | 255 | 1 |
| Average Profit | 32,00p. | 21,22p. | 43,46p. | -42 795,00p. |
| Average Profit % | 0,03% | 0,03% | 0,04% | -39,90% |
| Average Bars Held | 32,06 | 31,50 | 32,64 | 53 538,00 |
| Winning Trades | 263 | 140 | 123 | 0 |
| Win Rate | 50,00% | 51,66% | 48,24% | 0,00% |
| Gross Profit | 247 995,00p. | 120 075,00p. | 127 920,00p. | 0,00p. |
| Average Profit | 942,95p. | 857,68p. | 1 040,00p. | 0,00p. |
| Average Profit % | 1,09% | 0,98% | 1,20% | 0,00% |
| Average Bars Held | 35,78 | 35,64 | 35,93 | 0,00 |
| Max Consecutive Winners | 8 | 10 | 6 | 0 |
| Losing Trades | 263 | 131 | 132 | 1 |
| Loss Rate | 50,00% | 48,34% | 51,76% | 100,00% |
| Gross Loss | -231 162,00p. | -114 324,00p. | -116 838,00p. | -42 795,00p. |
| Average Loss | -878,94p. | -872,70p. | -885,14p. | -42 795,00p. |
| Average Loss % | -1,02% | -0,99% | -1,05% | -39,90% |
| Average Bars Held | 28,33 | 27,08 | 29,58 | 53 538,00 |
| Max Consecutive Losses | 9 | 9 | 8 | 1 |
| Maximum Drawdown | -29 376,00p. | -17 277,00p. | -20 226,00p. | -65 754,00p. |
| Maximum Drawdown Date | 01.04.2013 | 09.07.2013 | 01.04.2013 | 14.03.2014 |
| Profit Factor | 1,07 | 1,05 | 1,09 | 0,00 |
| Recovery Factor | 0,57 | 0,33 | 0,55 | 0,00 |
| Payoff Ratio | 1,07 | 0,99 | 1,15 | 0,00 |

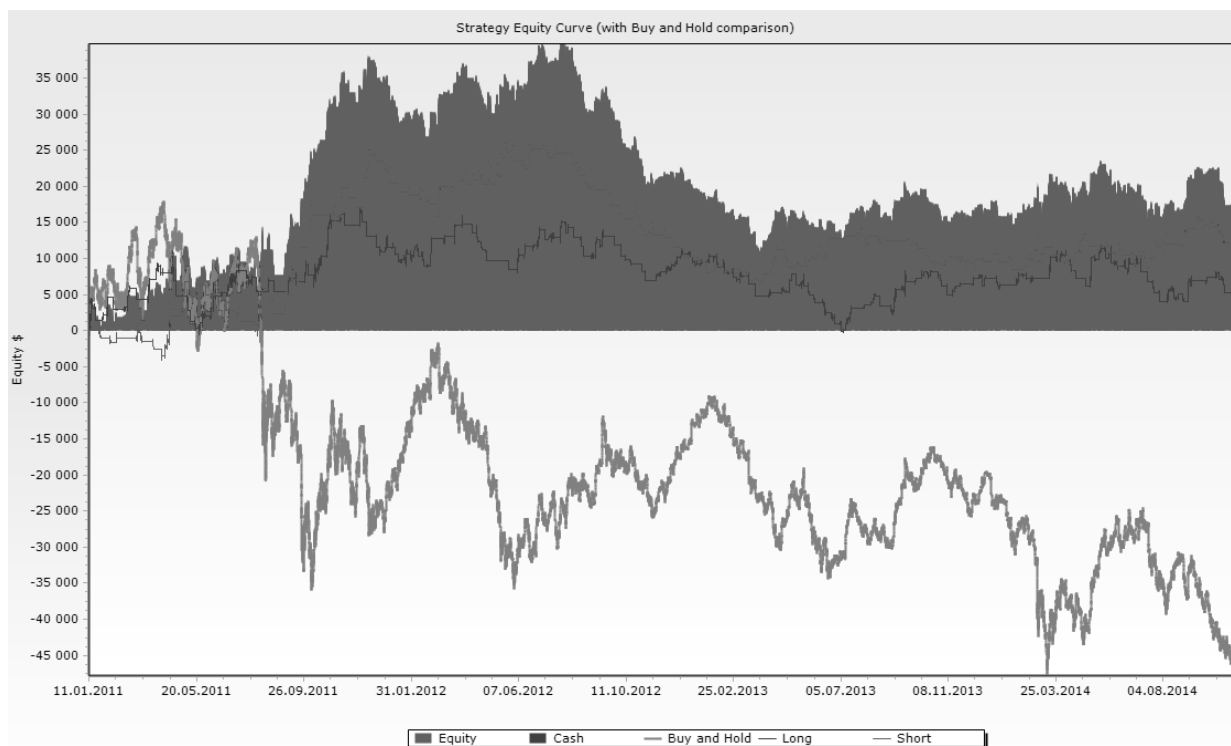


Рисунок 3 – Кривая доходности системы 2011-2015 с дополнительным условием объема

Как видно из графика (рисунок 3), начиная с середины 2012 года система не приносит прибыль, значит можно сделать вывод, что поведение цен изменилось. Если в 2008-2009 году можно было вставать в направления пробоя на любом откате и ждать прибыли, то в изменившейся ситуации данная система не приносит ожидаемой прибыли. Хотелось бы отметить, как видно из кривой доходности пробой минимумов работают гораздо лучше.

Очевидно, что такие классические варианты торговых алгоритмов, основанных на выходе цены за экстремум в явном виде не являются высокодоходными системами. Это объясняется спецификой фондового рынка, на котором ежегодно возрастает конкуренция. Поэтому, прибыльные торговые алгоритмы в этом случае работают стабильно гораздо меньшее время. Однако рынки, так или иначе, цикличны, поэтому системы приносящие прибыль в прошлом, в будущем также будут работать.

Библиографический список

1. Милованов М.М. Применение рефлексивного анализа как основание для краткосрочного прогнозирования поведения финансовых рынков // Теоретическая и прикладная экономика. – 2015. – № 1. – С.1 – 9. URL:http://e-notabene.ru/etc/article_14069.html
2. Ермакова Л.А. Графический анализ данных в MS Excel: метод. указ./Л.А. Ермакова. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2013.-34с.
3. Милованов М.М. Прогнозирования поведения инструментов финансовых рынков с помощью рефлексивных процессов//Электронный научный журнал «Финансы и учет». – 2014. – Выпуск 4(26). С. 21-23. URL: <http://www.finance-and-accounting.ingnpublishing.com/>
4. Милованов М.М. Применение технического анализа для исследования внутридневных трендов. Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ'2015) – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 264 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНИВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНОГО УГОЛЬНОГО ЦЕЛИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ- И ТРЁХМЕРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Риб С.В., Домрачев А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Оценка устойчивости неоднородных угольных целиков при разработке угольных пластов длинными и короткими очистными забоями осуществляется с использованием методов математического и численного моделирования. Однако, эти методы не в полной мере разработаны и адаптированы к реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям угольных шахт. Данная работа посвящена численному моделированию напряжённно-деформированного состояния (НДС) неоднородных целиков при различных горно-геологических условиях и горнотехнической обстановке.

Предлагаемая методика оценки НДС неоднородных целиков на основе совместного использования разнотипных 2d/3d конечных элементов (например, треугольников и шестигранников с различным количеством вершин) для оценки нагрузки на неоднородный целик и определения его НДС позволяет более эффективно использовать вычислительные ресурсы и повысить наглядность картины распределения напряжений без привлечения дополнительных средств. При этом выбор набора параметров для передачи данных из среды двумерного расчета нагрузки на целик в трехмерную среду определения напряженно-деформированного состояния целика ограничивается значениями коэффициента концентрации напряжений, распределенных по вертикальному сечению прилегающего к выработке массива горных пород. В основу структуры алгоритма заложено использование упругой модели при определении нагрузки на неоднородный целик и упруго-пластической - при определении НДС угольного целика. Для задания свойств массива горных пород используется кривая нагрузка-деформация (диаграмма растяжения). При моделировании нелинейного режима деформирования свойства материалов задаются на основе кривой текучести (flow curve), которая может быть получена из диаграммы растяжения данного материала путем извлечения из общей деформации линейной составляющей:

$$\varepsilon_{\text{те}} = \varepsilon - \varepsilon_{\text{ст}} = \varepsilon - \frac{\sigma}{E}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{пл}}$ – относительная пластическая деформация;

ε – полная относительная деформация;

$\varepsilon_{\text{упр}}$ – относительная упругая деформация;

σ – напряжения (в образце);

E – модуль Юнга.

При этом имитация разнородности массива может выполняться как за счет варьирования значений модуля Юнга и коэффициента Пуассона, так и использования различных моделей упругого и упруго-пластического деформирования – Гука, фон Мизеса [1, 2], Wehmann [6]. При расчете нагрузки на целик используются линейные базисные функции (shape function), а при оценке НДС целика – нелинейные базисные функции. Укрупненная блок-схема модели оценки НДС неоднородного угольного целика на основе совместного использования разнотипных 2d/3d конечных элементов приведена на рисунке 1.

В алгоритме оценки предусматривается реализация двух этапов. На первом производится двумерное численное моделирование (2D) методом конечных элементов геомехани-

ческих процессов в углепородном массиве с учётом влияния его слоистости и неоднородного строения в виде породных прослоек, твёрдых включений, пльвунов, дизъюнктивных геологических нарушений и системы очистных и подготовительных выработок.

Моделирование осуществляется с помощью адаптированного к задачам настоящей работы комплекса программ CoalPillar, разработанного на кафедре геотехнологии [3, 4].

На втором этапе для реализации трехмерного моделирования НДС используется программа Aurora Z88 [5, 6]. Исследуемая модель неоднородного целика разбивается на объемные конечные элементы – шестигранники с 8 узлами, что позволяет использовать более сложные функции формы. Для шестигранника с 8 узлами (рисунок 2) вектор-столбец перемещений имеет 24 компонента, объединенные в 8 блоков по числу узлов. Элемент hexahedron (шестигранник) с восемью узлами обеспечивает вычисление деформации и напряжения в пространстве и является трансформируемым, т.е., может иметь форму клина или другой пространственной геометрической фигуры. Трансформация формы объемного конечного элемента является изопараметрической. Шестигранник может задаваться генератором сети конечных элементов (mesh generator) Z88N для разбиения суперэлементов типа шестигранник № 10 и № 1 [5, 6] (при моделировании в качестве суперэлемента и разделяющих элементов использовались шестигранники). Основные параметры материалов, принятые при выполнении расчетов, приведены на рисунке 3.

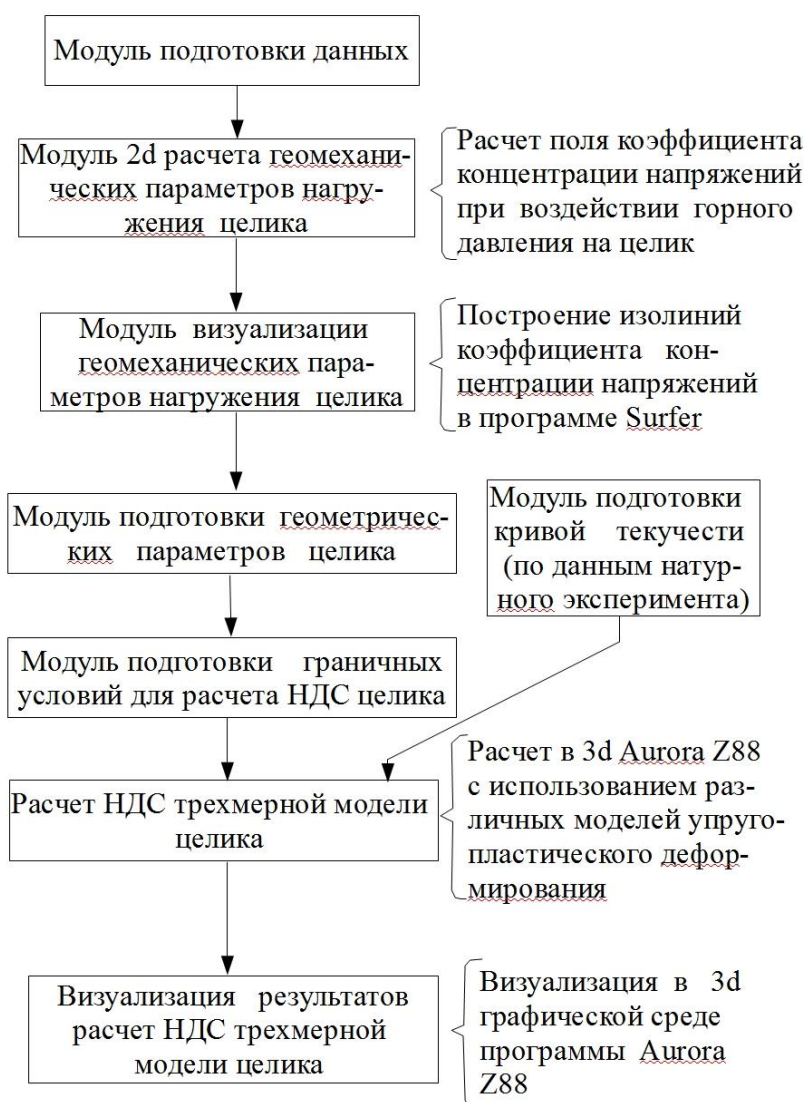


Рисунок 1 – Укрупненная блок-схема алгоритма расчета НДС неоднородного целика

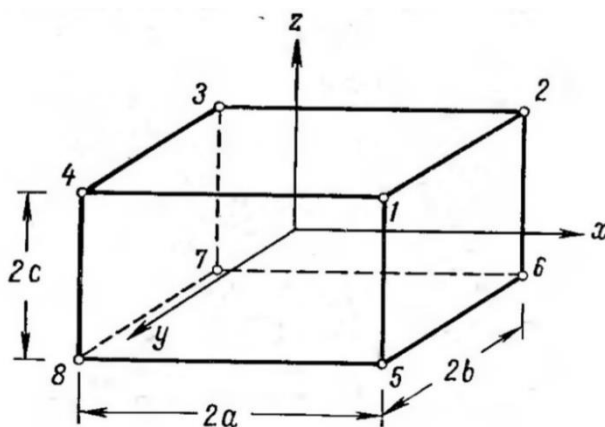


Рисунок 2 – Расчетная схема шестигранника с восемью узлами [4]

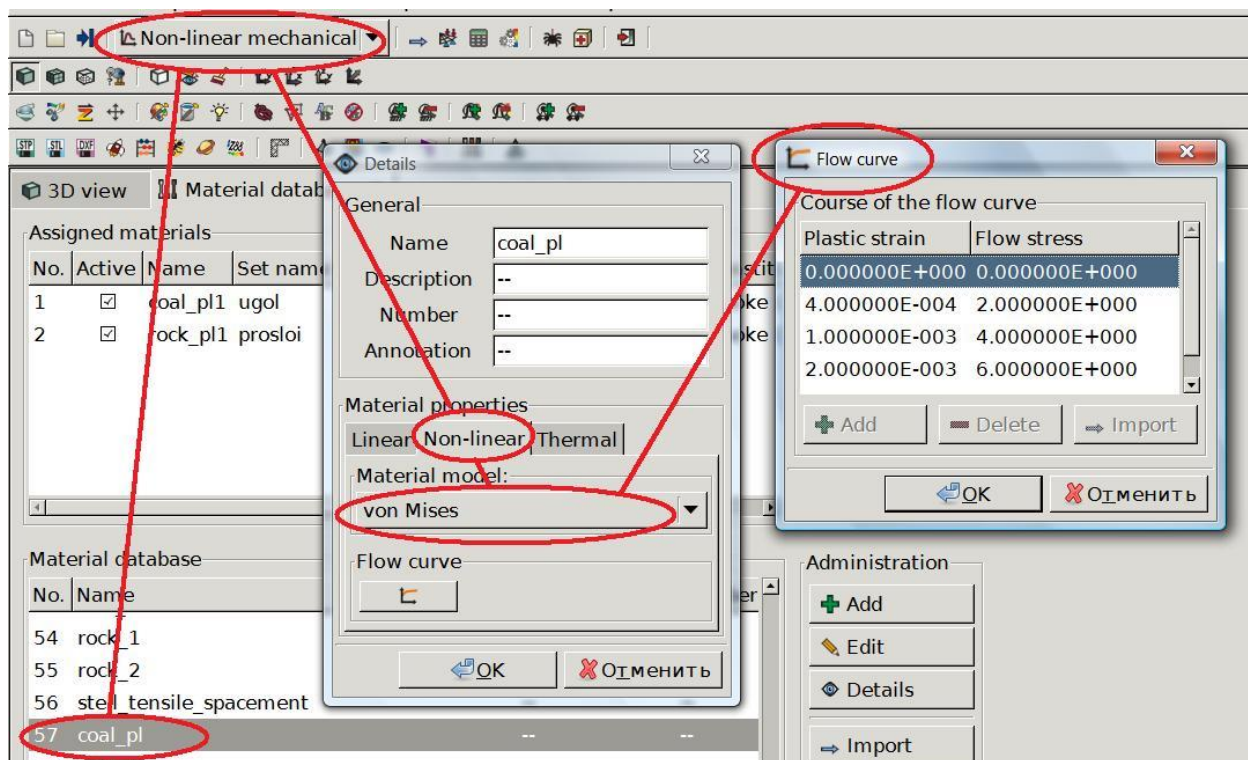


Рисунок 3 – Задание свойств материала при нелинейном моделировании НДС

Результаты моделирования НДС угольного целика размером 30×100 м на пласте 3 шахты «Аларда» при расположении линии очистного забоя в створе с короткой осью целика мощностью 4,5 м с прослойком породы мощностью 0,3 м при глубине горных работ 300 м, коэффициенте концентрации напряжения 3 и расположении линии очистного забоя в створе с короткой осью целика приведены на рисунках 4, 5.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность использования программы трехмерного моделирования Aurora Z88 совместно с комплексом проблемно-ориентированных программ CoalPillar для моделирования геомеханических процессов в горном массиве для оценки напряженно-деформированного состояния угольного целика при неравномерном распределении нагрузки в зоне повышенного горного давления от очистного забоя. Применение работоспособного алгоритма позволяет наглядно представить распределение напряжений в актуальных частях целика, выделить наиболее нагруженные участки и обосновать мероприятия по сохранению выемочных выработок, охраняемых угольным целиком.

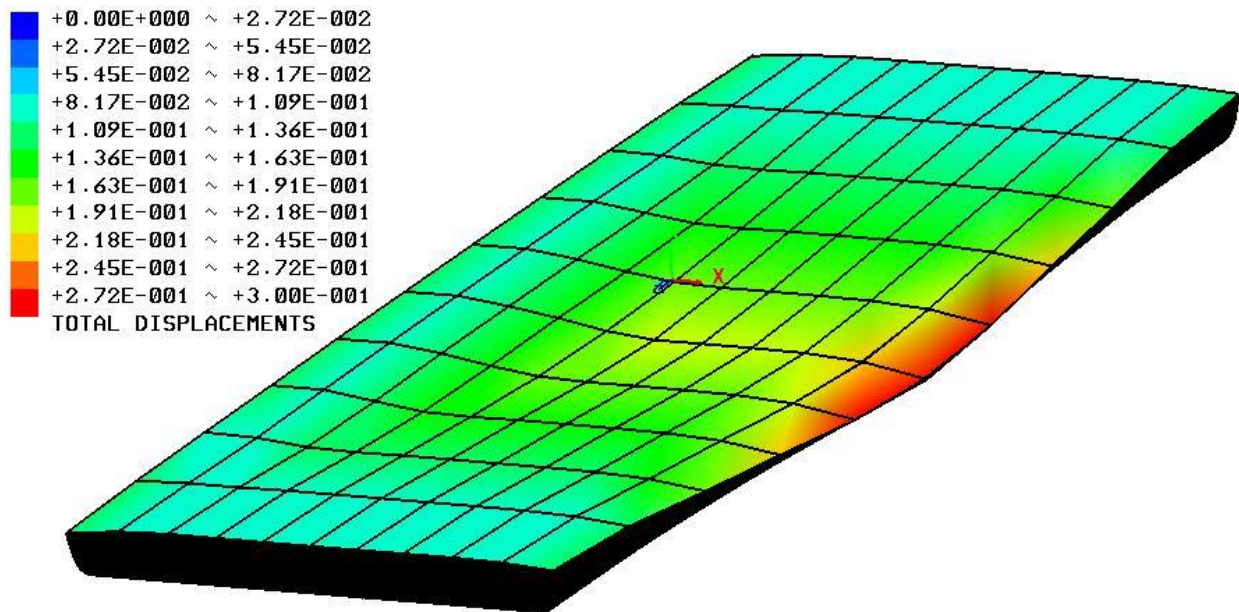


Рисунок 4 – Конвергенция пород кровли и почвы в целике

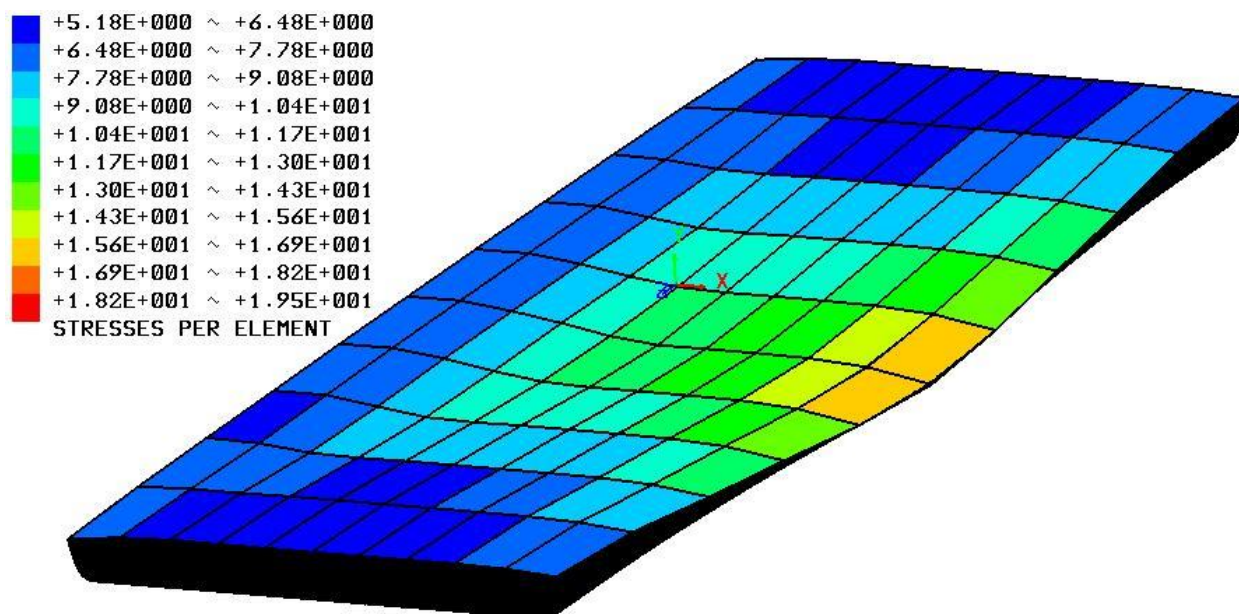


Рисунок 5 – Распределение напряжений по элементам, МПа

Библиографический список

1. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
2. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики/ Клованич С.Ф. – Запорожье: Изд-во журнала «Світ геотехніки», 2009. – 400 с.
3. Риб С.В. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряжённо-деформированного состояния неоднородных угольных целиков / С.В. Риб, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 3. – С. 367–372.
4. Риб С.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач числен-

ного моделирования неоднородных угольных целиков/ С.В. Риб, В.В. Басов// Вестник СибГИУ. – Новокузнецк, 2014. № 4. С. 11-13.

5. Z88 AURORA User Manual - [Электронный ресурс], URL: ftp://ftp.uni-bayreuth.de/pub/uni-bayreuth/LS-CAD/Z88AuroraV1/manual_Z88AuroraV1/userguide.pdf.
6. Z88 AURORA Theory Manual - [Электронный ресурс], URL: http://www.z88.de/z88aurora/download/theoryguide.pdf

ОБ УЧЁТЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ МАТЕРИАЛОПОТОКОВ ДОЗИРОВАНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ СМЕСЯПРИГОТОВЛЕНИЯ

Федосенков Д.Б., Симилова А.А., Федосенков Б.А.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Смесительный аппарат непрерывного действия является центральной частью смесительного устройства (СНД), формирующей проточный канал (М – канал) смесительного аппарата. На рисунке 1 он характеризуется передаточной функцией W_{dc} . Помимо него, так называемый узел каналов направленной организации материалов потоков содержит в своем составе каналы опережения (байпасный канал, F – канал) с передаточной функцией W_f и локального рецикла с передаточной функцией W_{lr} (L-канал).

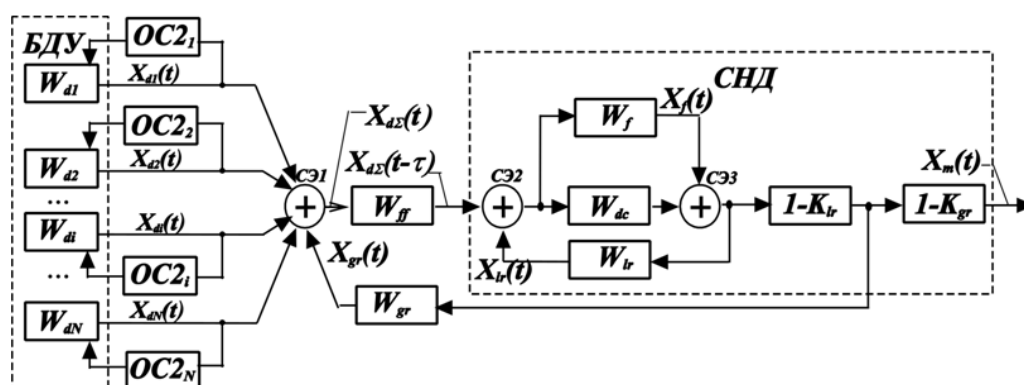


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема смесеприготовительного агрегата; блоки $OC_i, i = 1, N$ – звенья квадратичной обратной связи

С целью создания статического и динамического рециркуляционных режимов, со стороны мониторингового устройства могут формироваться воздействия на отражательный элемент смесителя, выполненного в виде спирали Архимеда. Следует отметить, что М-канал характеризуется в динамике составляющей перемещения сыпучего материала по стенкам конусов вплоть до верхней кромки внешнего конуса активной роторной части аппарата, где эта составляющая (М-составляющая) соединяется в общий поток с F-составляющей байпасного канала. Звено W_{lr} характеризует перемещение материала по желобу спирали Архимеда, причем, отбираемый в него материал представляет собой материал суммарного потока двух составляющих, поступающих из М- и F-каналов.

Флуктуацию совокупного материалопотока $X_{аз}(t)$ на предсмесительной стадии (неравномерность сигнала дозаторного расхода) определяем с помощью вводимого нами коэффициента пульсации:

$$Kp_{d\Sigma} = 1 - \frac{\int_0^{T_{max}} X_{d\Sigma}(t) dt}{\max_{\forall t \in 0, T_{max}} (X_{d\Sigma}(t)) \cdot T_{max}}, \quad (1)$$

где $\max_{\forall t \in 0, T_{max}} (X_{d\Sigma}(t))$ – максимальное значение совокупного сигнала материалопотока на предсмесительной стадии;

T_{max} – максимальный период дозирования.

Сигнал совокупного дозаторного материалопотока представляет собой сумму гармоник Фурье-разложения, смещенных на величину сдвига фазы дозаторов τ_{di} :

$$X_{d\Sigma}(t) = \sum_i X_{di}(t) = \sum_i \left(\frac{A_{0i}}{2} + \sum_k (A_{i,k} \cos[(t - \tau_{di})k \cdot \Delta\omega] + B_{i,k} \sin[(t - \tau_{di})k \cdot \Delta\omega]) \right), \quad (2)$$

$$W_{d\Sigma}(s) = \sum_{i=1}^N W_{di}(s) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_{0i}}{2} + \sum_{k=1}^M \left(A_{i,k} \frac{s^2}{s^2 + (k \cdot \Delta\omega)^2} + B_{i,k} \frac{(k \cdot \Delta\omega) \cdot s}{s^2 + (k \cdot \Delta\omega)^2} \right) \right) \exp(-\tau_{di}s), \quad (3)$$

где $A_{0i} = 2X_{di\text{const}}$, $A_{i,k} = f(X_{di\text{const}}, \omega_{di}, \Delta\omega, \lambda_i, \mu_i, \nu_i)$ и $B_{i,k} = f(X_{di\text{const}}, \omega_{di}, \Delta\omega, \lambda_i, \mu_i, \nu_i)$, определенные таким образом, что для каждого i -го дозатора формируется Фурье-модель с частотой первой гармоники ω_{di} . При этом все частоты устанавливаются кратными шагу изменения частот $\Delta\omega$ – для приведения всех гармоник к единому ряду, начинающемуся с частоты $\Delta\omega$ и имеющему N спектральных составляющих Фурье-разложения. Коэффициент пульсаций потока при этом определяется следующим образом:

$$Kp_{d\Sigma} = 1 - \frac{\int_0^{T_{max}} X_{d\Sigma}(t) dt}{\max_{\forall t \in 0, T_{max}} \left(\sum_i \left(\frac{A_{0i}}{2} + \sum_k (A_{i,k} \cos[(t - \tau_{di})k \Delta\omega] + B_{i,k} \sin[(t - \tau_{di})k \Delta\omega]) \right) \right) T_{max}} \quad (4)$$

На основе полученной зависимости $Kp_{d\Sigma} = f(X_{di\text{const}}, \tau_{di}, \omega_{di}, \lambda_i, \mu_i, \nu_i)$ пульсаций сигнала совокупного материалопотока на предсмесительной стадии от параметров блока дозирующих устройств (ДУ) предлагается определять векторы параметров блока дозаторов, обеспечивающих требуемые значения коэффициента пульсации суммарного дозаторного сигнала.

Ниже приводится анализ полученной зависимости коэффициента пульсаций $Kp_{d\Sigma}$ от сдвига τ_{di} начальных фаз дозирования.

На рисунке 2, а показан график изменения коэффициента пульсации $Kp_{d\Sigma}$ сигнала совокупного расхода $X_{d\Sigma}(t)$ (рисунок 3) на выходе блока из двух порционных дозаторов (ПДУ). При этом варьируются начальные фазы дозирования τ_{d1} и τ_{d2} ; состояние других параметров блока – неизменно. Из рисунка видно, что при отсутствии сдвига начальных фаз ($\tau_{d1} = 0, \tau_{d2} = 0$) коэффициент пульсации $Kp_{d\Sigma} = 0,52$ (этот тип дозирования соответствует режиму, показанному на осциллограммах рисунка 3, а). При сдвиге фазы второго дозатора τ_{d2} в сторону отставания коэффициент пульсации уменьшается и при $\tau_{d2} = 0,5$ с достигает своего минимального значения $Kp_{d\Sigma} = 0,37$ (соответствующие осциллограммы показаны на рисунке 3, б). Дальнейший сдвиг фазы τ_{d2} приводит вновь к увеличению коэффициента пульсации $Kp_{d\Sigma}$, который при $\tau_{d2} = 1,25 - 1,75$ с имеет максимальное значение $Kp_{d\Sigma} = 0,57$ (рисунок 3, в). Анализ линий равного уровня (рисунок 2, б) зависимости $Kp_{d\Sigma} = f\{\tau_{d1}, \tau_{d2}\}$ позволяет получить связь между τ_{d1} и τ_{d2} , определяющую значение коэффициента пульсации: $\tau_{d2} = \tau_{d1} + 0,5 + k$, где при целых четных k коэффициент пульсации будет минимальным, при нечетных – максимальным (с допустимым отклонением $\tau_{d2} \pm 0,25$ с).

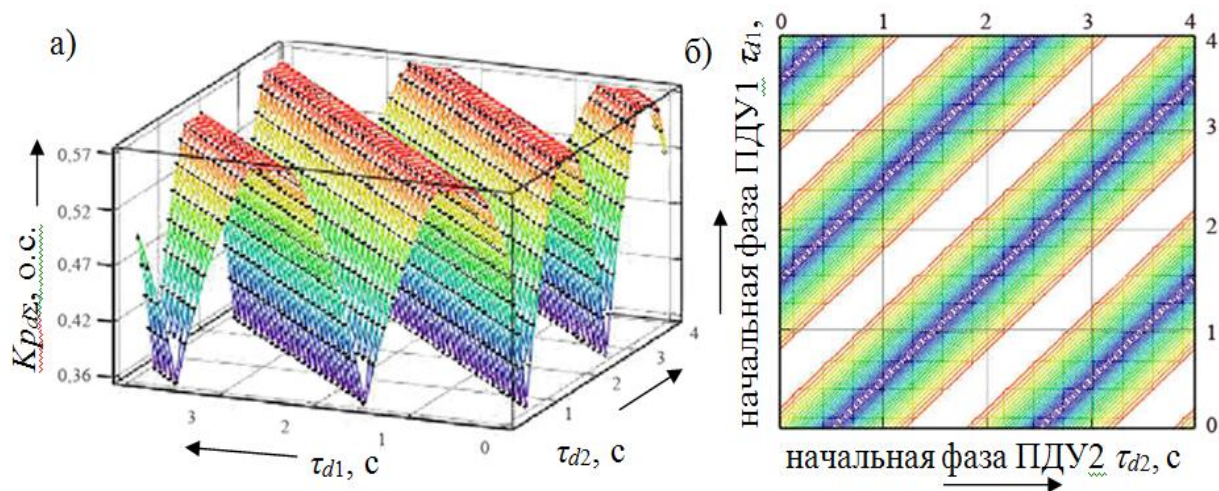
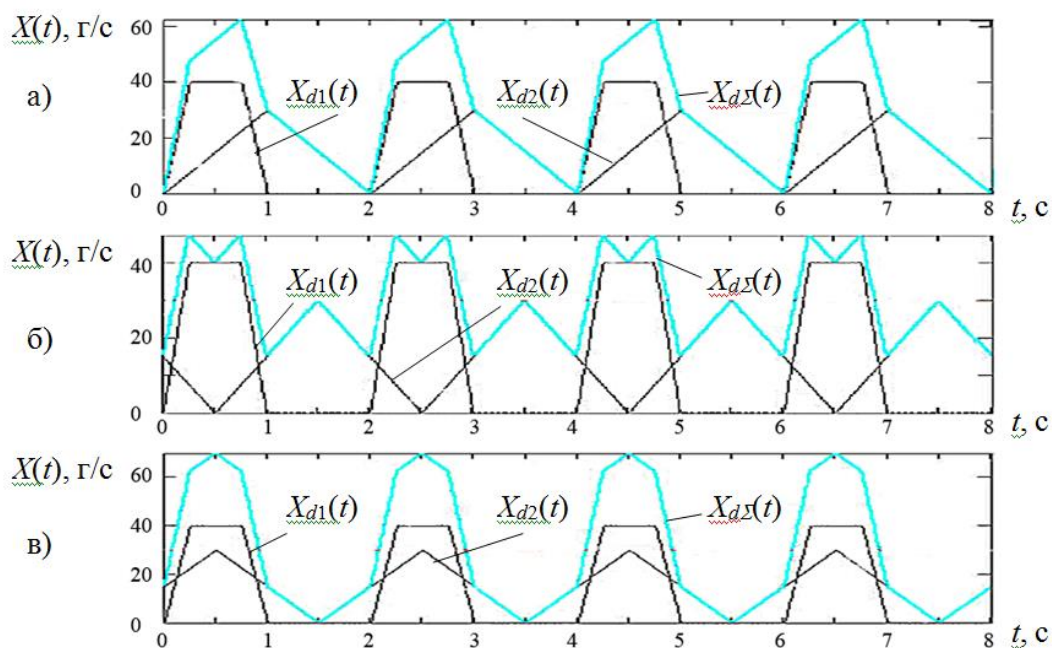


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента пульсаций совокупного сигнала расхода блока из двух порционных дозаторов от сдвига их начальных фаз τ_{d1} и τ_{d2} (период дозирования $T_1 = T_2 = 2$ с, средний расход $X_{dconst1} = X_{dconst2} = 15$ г/с, скважности: $\lambda_1=2, \mu_1=1,33, \nu_1=3; \lambda_2=1, \mu_2=2, \nu_2=1$): а) в трехмерной форме, б) линии равных значений коэффициента пульсаций (линии равного уровня): участки рельефа *min* уровня (0,36 о.е.) показаны в виде темных «швов», участки *max* уровня – в виде белых полос



а – $\tau_{d2} = 0$ с, $K_{p_{d\Sigma}} = 0,52$; б – $\tau_{d2} = 0,5$ с, $K_{p_{d\Sigma}} = 0,37$; в – $\tau_{d2} = 1,5$ с, $K_{p_{d\Sigma}} = 0,57$

Рисунок 3 – Осциллограммы сигналов расхода блока двух из ПДУ при различных значениях сдвига начальной фазы дозирования одного из дозаторов

На рисунке 4, а показана зависимость коэффициента пульсации $K_{p_{d\Sigma}} = f\{\tau_{d1}, \tau_{d2}\}$ сигнала $X_{d\Sigma}(t)$ совокупного материалопотока (рисунок 5) на выходе блока из двух вышеописанных ПДУ, период дозирования одного из которых уменьшен в два раза ($T_2 = 1$ с), что сделано для увеличения среднего расхода до: $X_{dconst2} = 30$ г/с.

Анализ графиков показывает, что уменьшение периода дозирования T_2 вызывает увеличение частоты колебаний коэффициента пульсации $K_{p_{d\Sigma}}$, линии равного уровня кото-

рого (рисунок 4, б) теперь подчиняются соотношению $\tau_{d2} = \tau_{d1} + 0,5 + 0,5k$, где при целых четных k коэффициент пульсации – минимален, при нечетных – максимален (с допустимым отклонением $\tau_{d2} \pm 0,25$ с).

Обобщая результаты исследования зависимостей коэффициента пульсаций $Kp_{d\Sigma}$ сигнала расхода на выходе блока из двух ПДУ (рисунки 2 и 4), можно вывести общую закономерность, описывающую линии равных значений $Kp_{d\Sigma} : \tau_{d2} = \tau_{d1} + 0,25T_1 + k/T_2$.

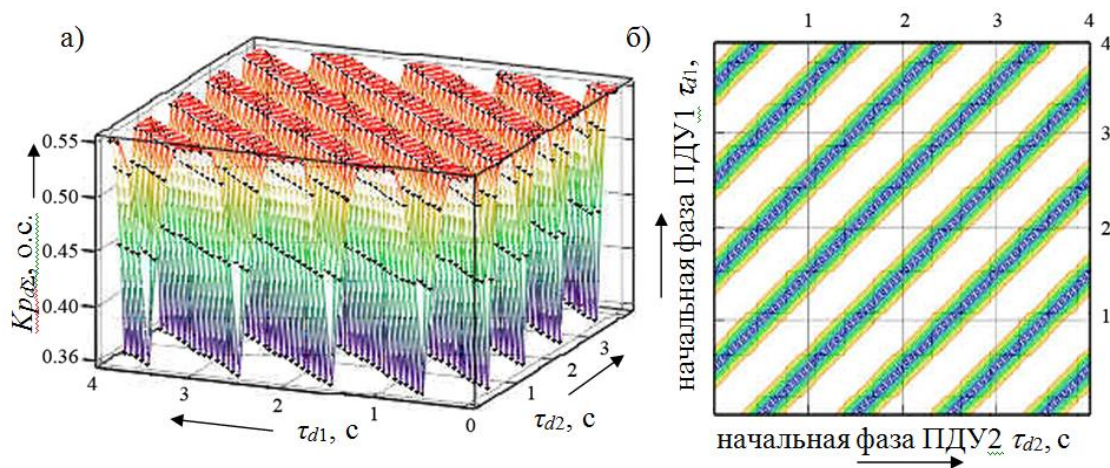
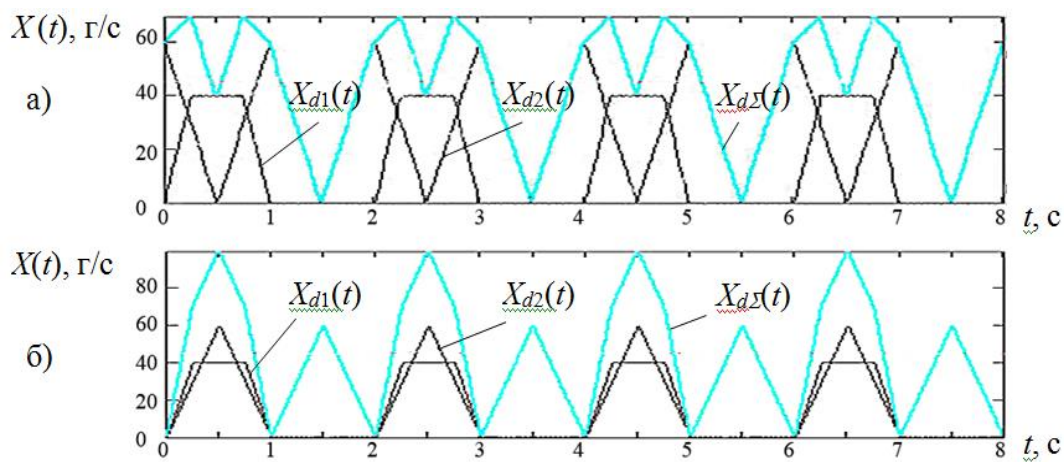


Рисунок 4 – Изменение коэффициента пульсаций сигнала совокупного материалопотока блока из двух порционных дозаторов с разными периодами ($T_1 = 2$ с, $T_2 = 1$ с) при варьировании сдвигов начальных фаз дозирования (скважности – те же, что и на рисунке 2)



а – $\tau_{d2} = 0$ с, $Kp_{d\Sigma} = 0,55$; б – $\tau_{d2} = 0,5$ с, $Kp_{d\Sigma} = 0,36$

Рисунок 5 – Осциллограммы сигналов расхода блока из двух порционных дозаторов при различных значениях сдвига начальной фазы дозирования одного из дозаторов

Выводы

1) Интегральный коэффициент пульсаций ($Kp_{d\Sigma}$) позволяет оценивать флуктуационные характеристики материалопотока на предсмесительной стадии в зависимости от сдвига начальных фаз дозирования для разных дозаторов в составе блока дозирующих устройств. Таким образом, настраивая определенные дозирующие устройства в соответствии с требуемым коэффициентом пульсаций, можно получать предсмесительные потоки с гармонизированной структурой без нарушения рецептурного соотношения дозируемых компонентов,

что благоприятно сказывается на качестве итоговой смеси.

2) Проблему недостаточной подготовленности материалопотока по его расходно-временной структуре на предсмесительной стадии (см. п.1 выводов) можно разрешить путем применения способа гомогенного асинфазно-синхронного дозирования [1]. При этом сохраняются высокие значения крутизны фронтов формируемых доз в порционном дозировании и могут поддерживаться произвольные величины скважности дозирования. Данный вид дозирования обеспечивает позитивное влияние на качественные показатели конечной смеси.

Библиографический список

1. Патент № 2188066 РФ, МКИ⁷ В01F15/04. Способ дозирования сыпучих материалов. / В.Н. Иванец, Б.А. Федосенков, Г.Е. Иванец, Д.Л. Поздняков, Е.В. Антипов. – 2003.

АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ

Стефанкин А.Е., Хачатрян Л.Р.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
г. Кемерово, Россия*

Мембранные методы эффективны в ряде процессов, связанных с концентрированием, очисткой и фракционированием жидких пищевых продуктов. Использование мембранных методов позволяет создать экономически высокоэффективные и малоотходные технологии переработки пищевого сырья, способствует улучшению качества пищевых продуктов, их биологической ценности и более полному переработке и использованию [1]. Мембранные методы характеризуются сравнительно низкими энергетическими затратами и экологичностью.

Автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) занимают прочное место в современном научном эксперименте. Применение АСНИ значительно повышает эффективность исследований, производительность труда, сокращает сроки обработки информации по результатам экспериментов, открывает пути к получению качественно новых результатов [2].

При создании АСНИ мембранных процессов преследуется достижение ряда основных целей:

1. Повышение эффективности и качества научных исследований на основе получения и уточнения более полных моделей мембранных процессов.
2. Получение качественно новых научных результатов, достижение которых невозможно без использования АСНИ.
3. Снижение сроков и трудоемкости научных исследований.

Автоматизированная система научно-технических исследований представляет собой аппаратно-программный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для получения, уточнения и апробации математических моделей мембранных процессов.

Выделим основные составные части, входящие в АСНИ мембранных процессов.

1. Научно-методическое обеспечение включает в себя методики и алгоритмы проведения эксперимента, обработки и представления экспериментальных данных.

2. Техническое обеспечение АСНИ включает в себя комплекс используемых технических средств: ПК, программируемые логические контроллеры (ПЛК), измерительную аппаратуру, экспериментальную установку, устройства связи с объектом, обеспечивающие функционирование АСНИ и ее отдельных частей.

3. Программное обеспечение АСНИ содержит документы с текстами программ, эксплуатационные документы, позволяющие реализовать основные функции АСНИ, основные

режимы ее работы, эффективное взаимодействие пользователей с техническими ресурсами АСНИ.

4. Информационное обеспечение АСНИ включает в себя базу данных, справочные системы, а также программные средства, обеспечивающие работу с имеющейся и вновь поступающей информацией, и соответствующие информационные документы.

5. Метрологическое обеспечение АСНИ содержит дополнительную аппаратуру и методические материалы, предназначенные для обеспечения необходимых метрологических характеристик системы, точности и достоверности измерительной информации.

6. Организационно-правовое обеспечение включает в себя инструкции для пользователей, которые регламентируют взаимодействие пользователей с системой, порядок эксплуатации АСНИ, способы организации доступа отдельных исследователей и групп исследователей к ресурсам коллективного пользования.

АСНИ (рисунок 1) представляет собой совокупность базы данных «Мембранные аппараты» и программных подсистем, выполняющих задачи технологического расчета мембранного оборудования и обработки результатов исследования мембранного процесса.

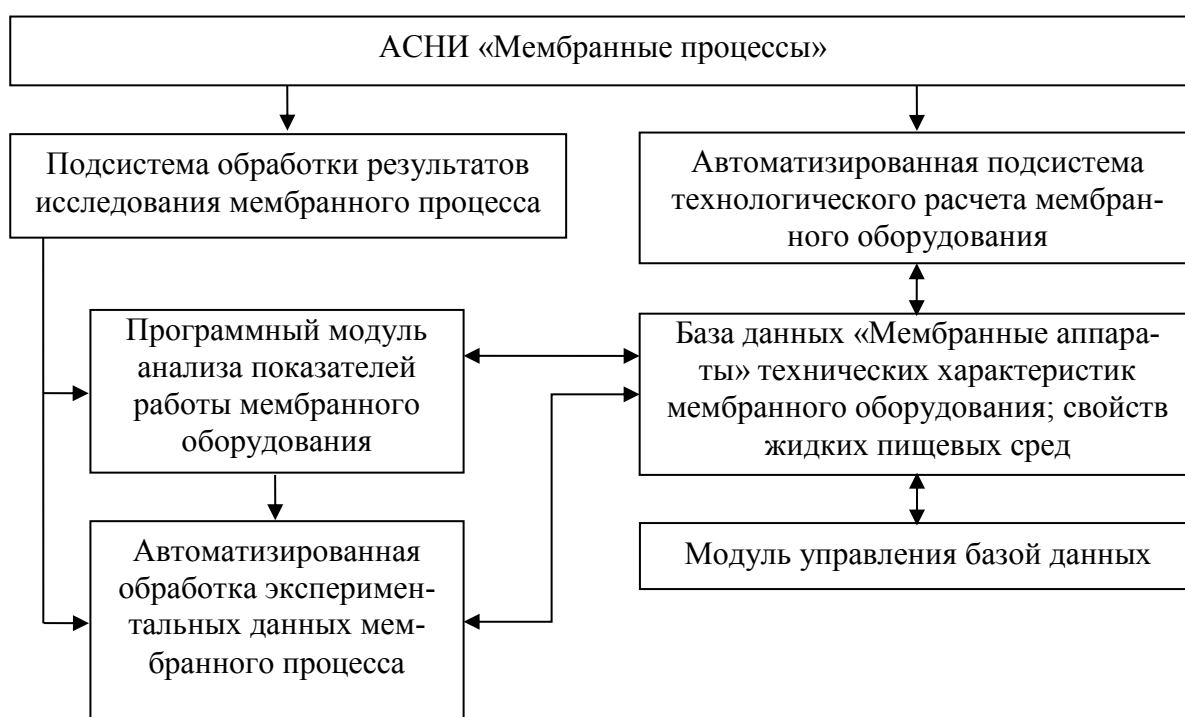


Рисунок 1 – Структура АСНИ «Мембранные процессы»

Подсистема обработки результатов исследования мембранного процесса включает программные модули анализа состава исходного сырья и продуктов его мембранной переработки, экспериментальных данных мембранного процесса.

АСНИ реализует следующие функции:

- хранение в базе данных (БД) технологических характеристик мембранных аппаратов, а также физико-химических свойств жидких пищевых сред, справочной информации;
- определение характеристик исходного сырья и продуктов его мембранной переработки (концентрация растворенных веществ, плотность, вязкость пищевых сред) и запись полученных значений в базу данных;
- расчет показателей работы мембранного аппарата непрерывного и периодического действия и статистическая обработка результатов исследования мембранного процесса в аппарате;
- расчет площади фильтрации мембранного аппарата и эффективности концентрирования (разделения) среды по различным методикам, выбранным пользователем;

- автоматизированный подбор мембранного аппарата на заданные режимы эксплуатации по критерию максимальной эффективности концентрирования (разделения);
- формирование отчетности в программном модуле MS Excel.

Библиографический список

1. Колзунова Л.Г. Баромембранные процессы разделения: задачи и проблемы / Л.Г. Колзунова // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – Владивосток, 2006. – № 9. – С. 65 – 76.
2. Фомичев, Н.И. Автоматизированные системы научных исследований / Н.И. Фомичев; Ярославский государственный университет. – Ярославль, 2001. – 112 с.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА ТЕСТИРОВАНИЕ РЕЛИЗОВ ИТ-СЕРВИСА

Зимин В.В., Киселева Т.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Введение. Одним из важных способов снижения риска разрушения эксплуатационной ИТ-среды при внедрении сервиса является разбиение множества сервисных активов на несколько релизов¹. На рисунке 1 приведена схема изменения текущих базовых состояний эксплуатационной ИТ-среды на новые базовые состояния в результате последовательного встраивания в ИТ-среду релизов ИТ-сервиса, обновляющих технологические активы (релиз А₁), активы приложений (релиз А₂), активы портфеля сервисов (релиз А₃) и активы бизнеса (релиз А₄).

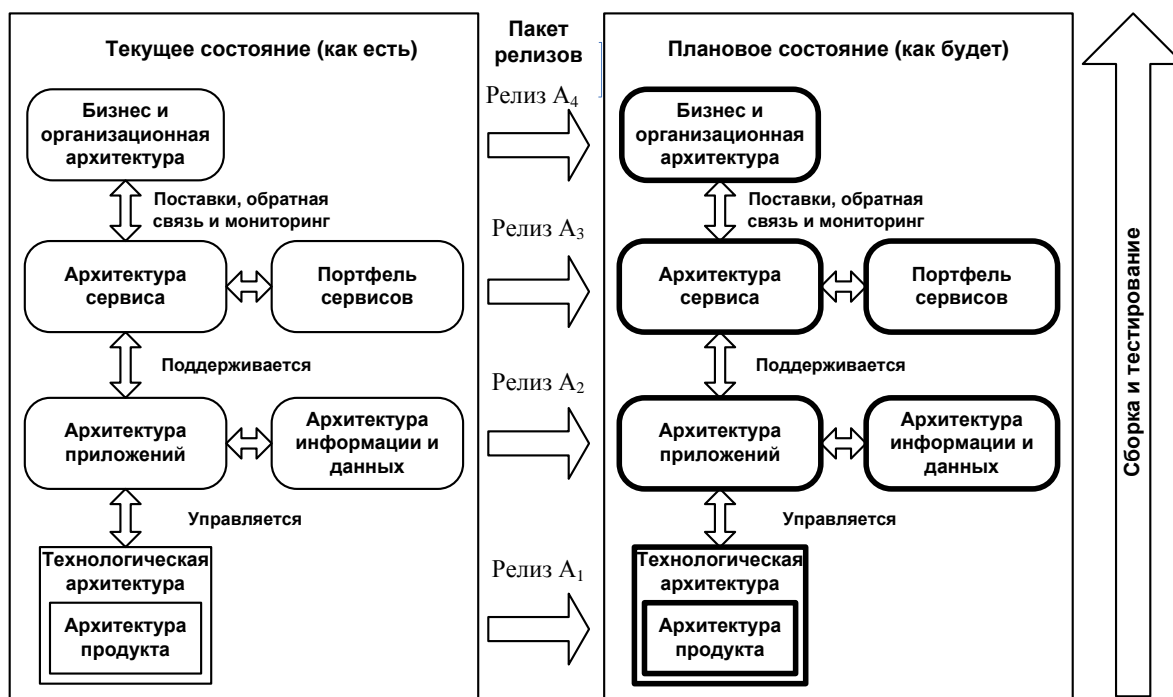


Рисунок 1 – Изменения текущих базовых состояний ИТ-среды на новые базовые состояния

Обозначим через $P(\bar{A}_i), i = \overline{1,4}$, и $P(A_i), i = \overline{1,4}$, - вероятности возникновения ИТ-происшествий в эксплуатационной среде при встраивании соответствующих релизов, соот-

¹ Релиз – совокупность сервисных активов, встраиваемых в эксплуатационную ИТ-среду за один прием.

ответственно, до и после их тестирования. Вероятности $P(\bar{A}_i), i = \overline{1,4}$, характеризующие качество проектирования релизов, будем считать известными. Качество/полноту p тестирования будем оценивать в трехбалльной (для упрощения расчетов) шкале измерения: 1 – «плохо» (соответствует большому риску возникновения ИТ-происшествий), 2 – «удовлетворительно» (соответствует среднему риску), 3 – «хорошо» (соответствует малому риску). Так, если интервал $(0, P(\bar{A}_i))$ вероятностей разбить на три равных подинтервала $(0, \frac{1}{3}P(\bar{A}_i)), (\frac{1}{3}P(\bar{A}_i), \frac{2}{3}P(\bar{A}_i)), (\frac{2}{3}P(\bar{A}_i), P(\bar{A}_i))$, и если в результате тестирования значение $P(A_i) \in (0, \frac{1}{3}P(\bar{A}_i))$, то качество тестирования $p(A_i) = 3$; если $P(A_i) \in (\frac{1}{3}P(\bar{A}_i), \frac{2}{3}P(\bar{A}_i))$, то $p(A_i) = 2$; если $P(A_i) \in (\frac{2}{3}P(\bar{A}_i), P(\bar{A}_i))$, то $p(A_i) = 1$. Аналогично будем определять в баллах качество/полноту $p(A_1 \cup A_2), p(A_1 \cup A_2 \cup A_3), p(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4)$ совместного тестирования соответствующих релизов.

Обозначим через $z(A_i), i = \overline{1,4}$, затраты на тестирование релиза. Будем считать известными функции затрат $z_p(A_i), p = \overline{1,3}, i = \overline{1,4}$, от качества/полноты тестирования релизов (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость затрат от качества тестирования релиза

| p | 3 | 2 | 1 |
|------------|------------|------------|------------|
| $z_p(A_i)$ | $z_3(A_i)$ | $z_2(A_i)$ | $z_1(A_i)$ |

Постановка задачи оптимального распределения ресурсов на тестирование релизов ИТ-сервиса:

$$\sum_{i=1}^4 z_{\delta}(A_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\delta(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) \geq p^* \quad (2)$$

То есть требуется определить такие $z_{\delta}(A_i), i = \overline{1,4}$, которые обеспечивают качество $\delta(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4)$ тестирования ИТ-сервиса не ниже заданного уровня p^* и минимизируют суммарные затраты на тестирование релизов.

Решение задачи (1-2) выполним методом сетевого программирования [1]. Для применения метода необходимо показать, что функции $P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4)$ и $z(A_1, A_2, A_3, A_4)$ структурно подобны. Рассмотрим структуру, приведенную на рисунке 2, и покажем, что она описывает сетевое представление обеих функций.

Для функции z соответствие сетевого представления следует из (1):

$$z_1 = \sum_{i=1}^2 z(A_i); \quad z_2 = z_1 + z(A_3); \quad z_3 = z_2 + z(A_4). \quad (3)$$

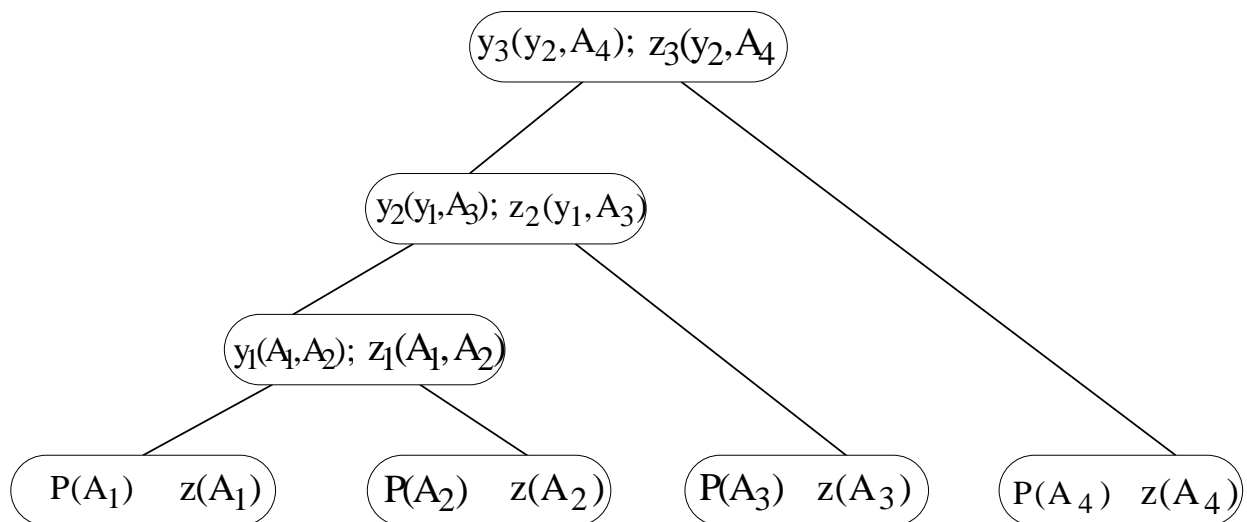


Рисунок 2 – Сетевое представление функций $P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4)$ и $z(A_1, A_2, A_3, A_4)$

Будем считать процедуры тестирования релизов независимыми. Тогда [2]:

$$y_1(A_1, A_2) = P(A_1 \cup A_2) = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1 \cap A_2); \quad (4)$$

$$y_2(y_1, A_3) = P(A_1 \cup A_2 \cup A_3) = P(A_1 \cup A_2) + P(A_3) - P[(A_1 \cup A_2) \cap A_3] = y_1 + P(A_3) - y_1 P(A_3); \quad (5)$$

$$y_3(y_2, A_4) = P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) = P(A_1 \cup A_2 \cup A_3) + P(A_4) - P[(A_1 \cup A_2 \cup A_3) \cap A_4] = y_2 + P(A_4) - y_2 P(A_4). \quad (6)$$

Таким образом, функции $P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4)$ и $z(A_1, A_2, A_3, A_4)$ структурно подобны. В соответствии с методом сетевого программирования для решения исходной задачи (1-2) необходимо последовательно решить три более простые оценочные задачи.

Задача 1:

$$z_1 = \sum_{i=1}^2 z(A_i) \rightarrow \min \quad (7)$$

$$\delta(y_1) = \delta(A_1 \cup A_2) \geq \delta^* \quad (8)$$

Задача 2:

$$z_2 = z_1 + z(A_3) \rightarrow \min \quad (9)$$

$$\delta(y_2) = \delta(A_1 \cup A_2 \cup A_3) \geq \delta^* \quad (10)$$

Задача 3:

$$z_3 = z_2 + z(A_4) \rightarrow \min \quad (11)$$

$$\delta(y_3) = \delta(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) \geq \delta^* \quad (12)$$

Решение задачи 3 будет решением исходной задачи (1) – (2).

Пусть $P(\bar{A}_1) = 0,24$; $P(\bar{A}_2) = 0,33$; $P(\bar{A}_3) = 0,12$; $P(\bar{A}_4) = 0,45$ и пусть затраты на тестирование релизов A_1 и A_2 описываются функциями $z_q(A_1)$ и $z_q(A_2)$, таблицы 2 и 3 :

Таблица 2 – Функция затрат $z_q(A_1)$

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| $P(A_1)$ $P(\bar{A}_1) = 0,24$ | 3 (0 – 0,08) | 2 (0,08 – 0,16) | 1 (0,16 – 0,24) |
| $z_q(A_1)$ | 13 | 9 | 6 |

Таблица 3 – Функция затрат $z_q(A_2)$

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| $P(A_2)$ $P(\bar{A}_2) = 0,33$ | 3 (0 – 0,11) | 2 (0,11 – 0,22) | 1 (0,22 – 0,33) |
| $z_q(A_2)$ | 8 | 5 | 3 |

Решаем задачу 1. Применяя (4) получаем зависимость $z(y_1)$, таблица 4:

Таблица 4 – Функция затрат $z(y_1)$

| | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| y_1 | 0,181 | 0,282 | 0,384 | 0,252 | 0,345 | 0,437 | 0,324 | 0,407 | 0,491 |
| $z(y_1)$ | 21 | 18 | 16 | 17 | 14 | 12 | 14 | 11 | 9 |

После приведения к трехбалльной шкале измерения получаем решение задачи 1 (таблица 5):

Таблица 5 – Решение задачи 1

| | | | |
|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| y_1 | 3 (0,252) (0,181 – 0,284) | 2 (0,324) (0,284 – 0,397) | 1 (0,491) (0,397 – 0,491) |
| $z_q(y_1)$ | 17 = = $z_2(A_1) + z_3(A_2)$ | 14 = = $z_1(A_1) + z_3(A_2)$ | 9 = = $z_1(A_1) + z_1(A_2)$ |

Пусть затраты на тестирование релиза A_3 описываются функцией $z_q(A_3)$ (таблица 6).

Таблица 6 – Функция затрат $z_q(A_3)$

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| $P(A_3)$ $P(\bar{A}_3) = 0,12$ | 3 (0 – 0,04) | 2 (0,04 – 0,08) | 1 (0,08 – 0,12) |
| $z_q(A_3)$ | 15 | 9 | 4 |

Решаем задачу 2. Применяя (5) получаем зависимость $z(y_2)$ (таблица 7).

Таблица 7 – Функция затрат $z(y_2)$

| | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| y_2 | 0,313 | 0,342 | 0,371 | 0,421 | 0,445 | 0,469 | 0,511 | 0,531 | 0,551 |
| $z(y_2)$ | 32 | 26 | 21 | 29 | 23 | 18 | 24 | 18 | 13 |

После приведения к трехбалльной шкале измерения получаем решение задачи 2 (таблица 8).

Таблица 8 – Решение задачи 2

| | | | |
|------------|--|--|--|
| y_2 | 3 (0,371) (0,313 – 0,392) | 2 (0,469) (0,392 – 0,471) | 1 (0,551) (0,471 – 0,551) |
| $z_q(y_2)$ | 21 = = $y_1(3) + z_1(A_3) =$ = $z_2(A_1) + z_3(A_2) +$ + $z_1(A_3)$ | 18 = = $y_1(2) + z_1(A_3) =$ = $z_1(A_1) + z_3(A_2) +$ + $z_1(A_3)$ | 13 = = $y_1(1) + z_1(A_3) =$ = $z_1(A_1) + z_1(A_2) +$ + $z_1(A_3)$ |

Пусть затраты на тестирование релиза A_4 описываются функцией $z_q(A_4)$ (таблица 9).

Таблица 9 – Функция затрат $z_q(A_4)$

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| $P(A_4)$ $P(\bar{A}_4) = 0,45$ | 3 (0 – 0,15) | 2 (0,15 – 0,30) | 1 (0,30 – 0,45) |
| $z_q(A_4)$ | 25 | 18 | 13 |

Решаем задачу 3. Применяя (6) получаем зависимость $z(y_3)$ (таблица 10).

Таблица 10 – Функция затрат $z(y_3)$

| | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| y_3 | 0,483 | 0,574 | 0,666 | 0,549 | 0,629 | 0,709 | 0,618 | 0,685 | 0,751 |
| $z(y_3)$ | 46 | 39 | 34 | 43 | 36 | 31 | 38 | 31 | 26 |

После приведения к трехбалльной шкале измерения получаем решение задачи 3 (таблица 11).

Таблица 11 – Решение задачи 3

| | | | |
|------------|---|---|---|
| y_3 | 3 (0,549) (0,483 – 0,572) | 2 (0,629) (0,572 – 0,662) | 1 (0,751) (0,662 – 0,751) |
| $z_q(y_3)$ | 43 = = $y_2(2) + z_3(A_4) =$ = $z_1(A_1) + z_3(A_2) +$ + $z_1(A_3) + z_3(A_4)$ | 36 = = $y_2(2) + z_2(A_4) =$ = $z_1(A_1) + z_3(A_2) +$ + $z_1(A_3) + z_2(A_4)$ | 26 = = $y_2(1) + z_1(A_4) =$ = $z_1(A_1) + z_1(A_2) +$ + $z_1(A_3) + z_1(A_4)$ |

Таким образом, минимальные затраты на тестирование ИТ-сервиса с оценкой 3 («хорошо») составляют 43 единицы ресурсов (включающих затраты на тестирование релиза A_1 с оценкой 1, релиза A_2 – с оценкой 3, релиза A_3 – с оценкой 1 и релиза A_4 – с оценкой 3). При этом вероятность возникновения ИТ-происшествий с сервисом при его внедрении равна 0,549.

Заключение. Задачу можно модифицировать, если ввести функцию, связывающую качество/полноту тестирования с потерями от ИТ-происшествий с сервисом в эксплуатационной среде. Тогда ее содержательная формулировка будет следующей: найти такие $z_\delta(A_i), i = \overline{1,4}$, которые обеспечивают потери от ИТ-происшествий с сервисом не выше заданного уровня и минимизируют суммарные затраты на тестирование релизов.

Библиографический список

1. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.10 / И.В. Буркова. – Москва, ИПУ, 2012. – 181 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей, М., 1969, – 576 с.

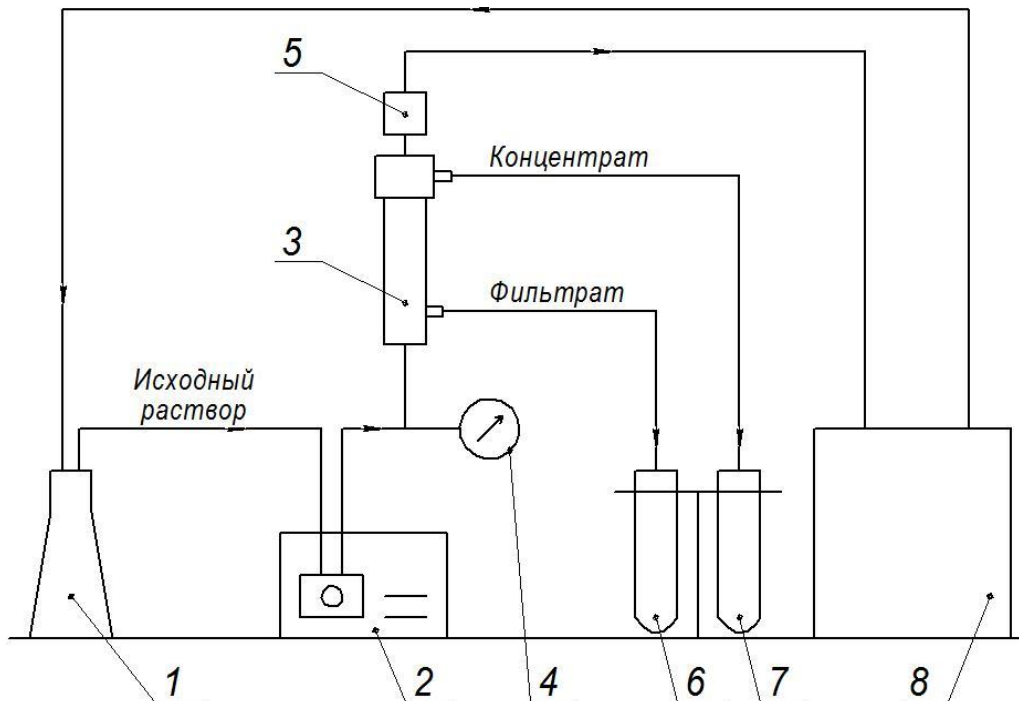
АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ПЛК

Хачатрян Л.Р., Стефанкин А.Е.

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»,
г. Кемерово, Россия*

Мембранные процессы успешно решают широкий диапазон задач разделения и концентрирования жидких сред. В настоящее время их используют в химической, нефтехимической, газовой, фармацевтической, микробиологической, атомной, пищевой промышленности, медицине, водоподготовке и т.д. В некоторых областях мембранные технологии не имеют конкурентов, например, низкотемпературная стерилизация растворов, позволяющая удалять бактерии и вирусы и сохранять при этом ценные качества термически неустойчивых веществ [1].

Экспериментальные исследования мембранного оборудования в лабораторных условиях проводятся на стенде (рисунок 1), представляющим собой мембранную установку периодического действия, которая предусматривает циркуляцию всего концентрируемого раствора. Необходимое давление для проведения процесса концентрирования создается при помощи циркуляционного насоса 2 и дросселирующего вентиля 5.



- 1 – емкость для исходного раствора; 2 – циркуляционный насос; 3 – мембранный аппарат;
4 – прибор контроля рабочего давления; 5 – дросселирующий вентиль; 6 – емкость
для сбора фильтрата; 7 – емкость для сбора концентрата; 8 – термостат

Рисунок 1 – Схема лабораторной мембранной установки

Аппаратный комплекс, входящий в состав автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) мембранного процесса, должен базироваться на современных микропроцессорных средствах, в частности, программируемых логических контроллерах (ПЛК). В настоящее время на рынке представлен широкий спектр отечественных и зарубежных ПЛК с различными техническими характеристиками [2].

С целью обоснованного выбора ПЛК необходим анализ информационной емкости мембранного процесса как объекта научного исследования. Система сбора данных в составе АСНИ мембранного процесса должна обеспечивать ввод и вывод следующих информационных сигналов:

1) унифицированные аналоговые входные сигналы, характеризующие значения температуры перерабатываемой среды, рабочего давления на входе и выходе из мембранного аппарата, расхода перерабатываемой среды на выходе из мембранного аппарата;

2) унифицированные аналоговые выходные сигналы, позволяющие управлять частотой вращения электропривода насоса с помощью частотного преобразователя и приводом дросселирующего вентиля.

Таким образом, необходим ввод в ПЛК четырех аналоговых унифицированных сигналов, а также вывод двух аналоговых унифицированных управляющих сигналов. Кроме того, могут быть предусмотрены дискретные сигналы, задействованные в схеме пуска/останова электропривода насоса.

При практической реализации лабораторного стенда были использованы следующие технические средства. С учетом мощности используемого электродвигателя насоса (Прима NC-400/36) выбран преобразователь частоты Delta VFD-004L21B, который необходим для регулирования скорости вращения электродвигателя насоса, т.е. для изменения нагнетания насоса и, соответственно, варьирования рабочего давления в мембранном аппарате. Для реализации функции контроля рабочего давления выбраны преобразователи давления измерительные «Коммуналец» СДВ-И-1,6-1,0-0,6. Для измерения расхода перерабатываемой среды используется совокупность приборов, включающая водосчетчик с импульсным датчиком ВСТ-20 и счетчик импульсов СИ8-Н.Р.Р.S. Для изменения расхода выбран регулирующийся клапан VB-20 с приводом электрическим AMV-24849 Danfoss. Измерение температуры среды производится датчиком температуры ОВЕН ДТС054-50М.В3.10.

Наиболее подходящим вариантом ПЛК для реализации функций сбора данных описанного лабораторного стенда подойдут моноблочные контроллеры ОВЕН, сравнительная характеристика которых представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика моноблочных ПЛК ОВЕН

| Контроллер | Дискретные входы | Дискретные выходы | Аналоговые входы | Аналоговые выходы |
|------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| ПЛК110-30 | 18 | 12 | - | - |
| ПЛК110-32 | 18 | 14 | - | - |
| ПЛК110-60 | 36 | 24 | - | - |
| ПЛК160 | 16 | 12 | 8 | 4 |
| ПЛК100 | 8 | 6 | - | - |
| ПЛК150 | 6 | 6 | 4 | 2 |
| ПЛК154 | 4 | 4 | 4 | 4 |

В результате при разработке аппаратного комплекса предпочтение отдано моноблочному контроллеру ПЛК150 ОВЕН, обеспечивающему обработку информационных сигналов системы сбора данных АСНИ.

ПЛК ОВЕН обладают возможностью включения в систему управления и диспетчеризации как с помощью проводных средств (встроенные интерфейсы Ethernet, RS-232, RS-485), так и с помощью беспроводных средств (радио, GSM, ADSL модемы). В контроллерах

заложены мощные вычислительные ресурсы при отсутствии операционной системы. Создание программ для контроллеров и их конфигурирование осуществляется профессиональной системой программирования CoDeSys.

Библиографический список

1. Колзунова Л.Г. Баромембранные процессы разделения: задачи и проблемы / Л.Г. Колзунова // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – Владивосток, 2006. – № 9. – С. 65-76.
2. Анашкин, А.С. Техническое и программное обеспечение распределённых систем управления / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В.Г. Харазов. – СПб.: П-2, 2004. – 368 с.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Сыркин И.С.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия*

Разработка программного обеспечения – сложная задача, требующая повышенного внимания к деталям и понимания тех задач, которые ставятся перед программистом. Не все программы можно модифицировать так, чтобы они могли работать в различных условиях. Но программисты должны обеспечить работу своих творений в ситуациях, о которых изначально ничего неизвестно. В частности, направление искусственного интеллекта помогают решить задачи, трудно воспринимаемые самим человеком. Область автоматического создания ПО (программного обеспечения) помогает компьютеру самостоятельно разрабатывать программы для себя. Конечная цель заключается в том, чтобы программист задавал лишь цель для программы. [0]

Некоторые задачи не могут быть описаны при помощи детерминированных алгоритмов. Такие задачи используют методы искусственного интеллекта (ИИ) для своего решения. Основные цели ИИ состоят в решении задач, обучении, и анализу естественного языка. Искусственный интеллект развивается благодаря развитию вычислительной техники – увеличению производительности процессоров, увеличению объемов оперативной памяти. Это приводит к тому, что возможности систем ИИ постоянно растут. [0]

Современная компьютерная наука требует решения сложных задач, например, создания систем управления, способных работать в заранее неопределенных условиях, для создания внеземных роботов-исследователей.

Методы решения задачи

Автоматическое создание алгоритмов – важная задача для современных компьютеров. Она может быть разделена на несколько подзадач:

- Выбор метода представления алгоритма, который будет использоваться для оценки результатов работы.
- Разработка методов автоматического изменения алгоритмов.
- Разработка методов оценки результатов работы алгоритма
- Разработка методов выбора лучшего алгоритма.

Алгоритм может быть представлен разными способами. Один из них, используемый во многих учебниках – так называемый псевдокод.

Человек может без проблем прочитать псевдокод, чтобы понять алгоритм. Однако сложно разработать автоматизированную систему, способную генерировать псевдокод. Это связано с тем, что компьютер должен понимать смысл большого количества операторов, что уравнивает эту задачу по сложности с задачей восприятия естественного языка. Для упрощения автоматической генерации можно уменьшить число элементов, описывающих алгоритм. Один из таких способов – применение блок-схем (рисунок 1).

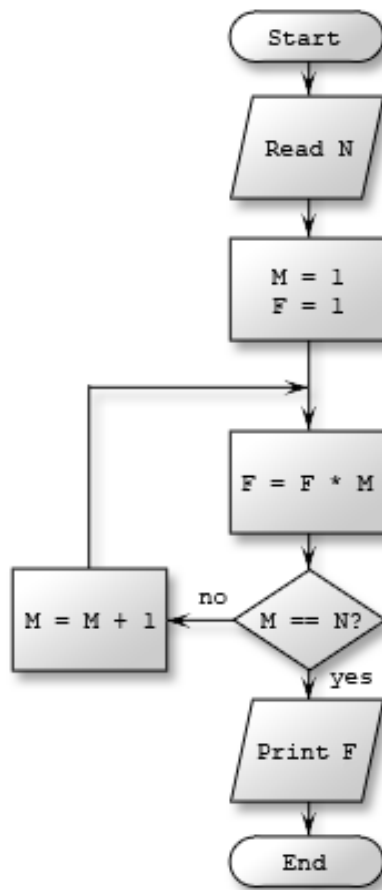


Рисунок 1 – Пример блок-схемы

Блок-схема представляет собой граф, каждый узел которого описывает элементарную инструкцию, описываемую набором параметров. Основным параметром – вид операции. Для упрощения можно уменьшить число этих операций до минимума. Другие параметры узла графа – это аргументы для операции. Таким образом весь алгоритм может быть представлен в виде направленного графа. Для машинного представления графа можно использовать расширенный тип данных, например, список.

Для выполнения данных исследований был разработан свой тип данных. Обычный список представляет собой описание элементов, каждый узел которого связан лишь с одним родителем и одним потомком. Этот тип данных можно использовать лишь для описания простых алгоритмов линейной структуры. Расширение алгоритмов путем добавления операций ветвления и циклов усложняет задачу машинного представления узла графа. Каждый узел должен иметь два потомка.

Таким образом алгоритм может быть описан при помощи массива элементов (рисунок 2), состоящих из:

- идентификатора элемента;
- идентификатора первого дочернего элемента;
- идентификатора второго дочернего элемента;
- идентификатора родительского элемента.

Массив с параметрами элемента.

Каждый алгоритм должен быть реализован на одном из языков программирования, например, Паскаль или C#. В нашей работе мы разработали виртуальную машину, способную исполнять автоматически созданный алгоритм. Любой алгоритм можно представить в виде программы на языке C#, откомпилировать ее в исполняемый файл и запустить его. Этот подход сложно реализовать для автоматической генерации алгоритмов, т.к. необходи-

мо будет перехватывать потоки ввода-вывода данных в операционной системе для автоматизации анализа результатов выполнения алгоритмов. Поэтому была предложена упрощенная виртуальная машина, способная выполнять алгоритм и упрощающая анализ его работы.

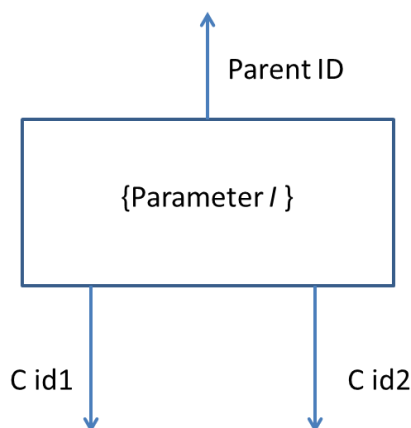


Рисунок 2 – Структура узла алгоритма

Создано большое количество виртуальных машин, например, Java VM, CLR и т.д. Однако переписывать их под свои нужды нецелесообразно, т.к. они обладают излишним для исследования функционалом. С целью упрощения работы была выбрана программная модель микроконтроллеров семейства PIC производства Microchip. [0] PIC – микроконтроллер RISC архитектуры, обладающий всего 35 командами. Его программная модель состоит из одного рабочего регистра и линейной памяти с регистрами периферийных устройств, отраженных в основную память. Эта модель подходит для целей нашего исследования. Разрабатываемая виртуальная машина обладает линейной памятью для данных, содержит один рабочий регистр WREG и два потока для ввода и вывода данных. Эти потоки предназначены для обмена данными с исполняемым алгоритмом.

Виртуальная машина и разрабатываемый алгоритм описываются в одном классе, предназначенном для хранения данных об узлах алгоритма. Среда окружения для каждого алгоритма состоит из массива оперативной памяти, рабочего регистра и двух потоков ввода и вывода данных.

Далее будут описаны методы изменения алгоритмов и анализа их работы. Как было сказано, алгоритм представлен в виде направленного графа. Мы можем создать случайный алгоритм с использованием генератора случайных чисел. Такой алгоритм будет приводить к получению непредсказуемых результатов. Возникает вопрос, может ли он выполнить что-либо полезное. Возможно и да, но в большинстве случаев – нет. Поэтому необходим метод автоматического изменения алгоритмов для возможности получения требуемых результатов. Таким методом является генетическое программирование или применение методов искусственного интеллекта.

Генетическое программирование – это метод решения вычислительных задач, основанный на аналогии с законами естественного отбора в живой природе. Это способ автоматического решения вычислительных задач даже без данных о форме или структуре алгоритма. Методы искусственного интеллекта, в частности, эволюционные вычисления, позволяют решать задачи глобальной оптимизации, в частности, поиск оптимального алгоритма.

На начальном этапе необходимо создать популяцию алгоритмов, созданных случайным образом. Она станет основой для создания новых. Каждый новый алгоритм будет комбинацией уже существующих. Они описываются хромосомами, которые будут обрабатываться при помощи генетического алгоритма с целью получения нового решения.

На этапе выбора лучшего решения необходимо проанализировать работу каждого из алгоритмов и оценить его работоспособность. Существует несколько способов решения

этой задачи. Один из них – постоянно выбирать лишь лучшие особи для создания новых. Однако это не лучший способ, т.к. он ведет к быстрому сходимости алгоритма поиска решения и не находит лучшего.

Общий путь решения задачи поиска лучшего решения заключается в предположении, что более качественное решение при скрещивании с другим качественным даст решение не хуже родительских. Разработано несколько способов выбора особей для скрещивания, например, метод рулетки или турнирного отбора. После выбора особей необходимо получить из одной пары другую. Для этого в генетическом алгоритме используется операция скрещивания. Часто для этой операции хромосомы рассекаются в одинаковых местах и обмениваются частями. В нашей задаче алгоритмы, а значит и хромосомы будут различной длины, что требует случайного выбора места «разреза» каждой хромосомы, что представлено на рисунке 3.

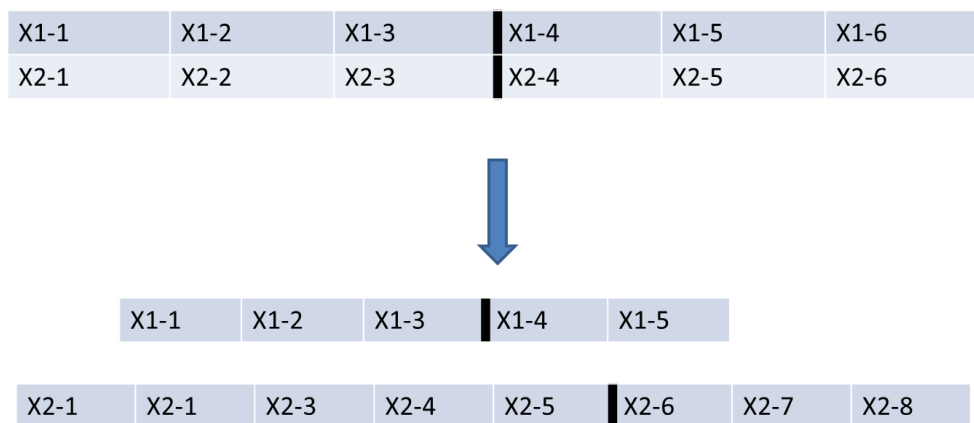


Рисунок 3 – Простой и сложный метод кроссовера

Важной частью исследований является решение проблемы оценки работоспособности алгоритма. Необходимо выяснить, сможет ли алгоритм выполнить поставленную перед ним задачу. Предполагается, что алгоритмы работают с потоками ввода и вывода, т.е. читают данные из одного и записывают в другой. Оценка результативности состоит из операций:

- Занесение данных в поток ввода.
- Запуск алгоритма.
- Чтение данных из потока вывода.
- Оценка результатов с использованием целевой функции

$$V(t) = \sum_{i=0}^N (A_i^r - A_i^w)^2$$

где N – длина потока вывода;

A_i^r – действительные данные в потоке;

A_i^w – требуемые данные.

Когда генетический алгоритм создает новую особь, она может описывать алгоритм большой длины, последние инструкции которого не выполняют полезных действий. По этой причине необходимо удалять лишние узлы из конца алгоритма. Для этого проверяют работоспособность полного алгоритма и алгоритма без последней операции. Если результат не меняется, то последний узел не нужен.

Виртуальная машина и генетический алгоритм реализованы в программе, написанной в среде VS2010. Диаграмма классов представлена на рисунке 4.

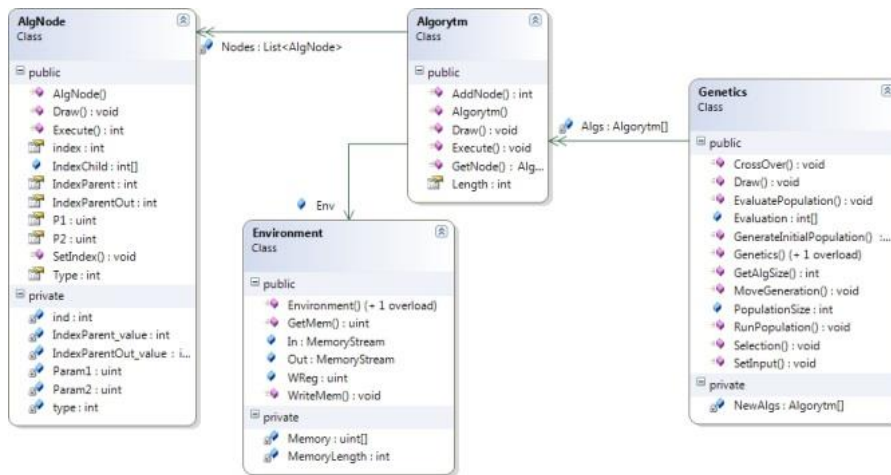


Рисунок 4 – Диаграмма классов программы

Результаты

В ходе выполнения работы была разработана упрощенная виртуальная машина для проверки алгоритмов. Для целей проверки работоспособности предложенного способа автоматического создания алгоритмов была поставлена цель вывода в поток числа «4» (аналог классической задачи «Hello world»). С целью визуализации результатов работы программы генерируемые алгоритмы выводятся на экран. При запуске программы нужно создать новую популяцию алгоритмов, выполнить несколько смен поколений, и в случае необходимости избавиться от ненужных «хвостов». Как показано на рисунке 4, автоматически созданный алгоритм смог выводить в поток нужное значение «4», причем выполняет это за минимально возможное количество шагов.

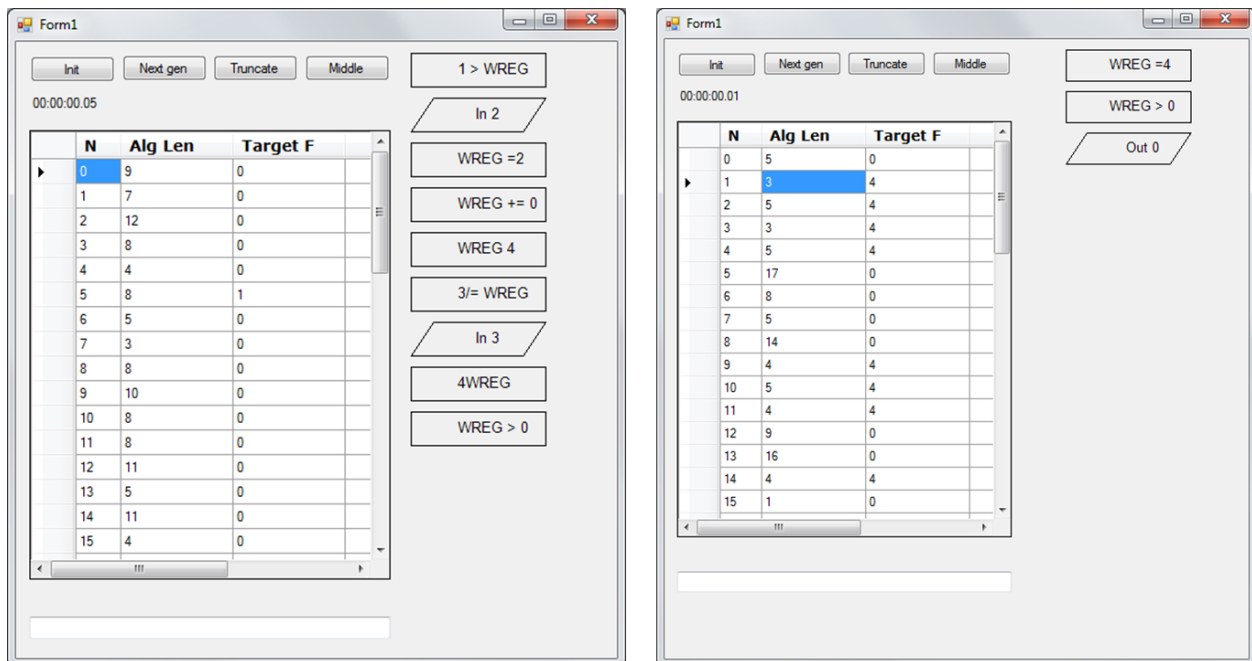


Рисунок 5 – Скриншот программы

Обсуждения.

Разработанная программа для автоматического создания алгоритмов показала, что это возможно. Таким образом компьютер создает программу для самого себя. Будущие исследования планируется связать с сохранением лучших решений для создания более сложных программ. Другой вопрос, который необходимо решить – способность системы оцени-

вать результативность созданного алгоритма. К примеру, в нашем случае мы знаем, что должно быть результатом работы, поэтому мы создали нужную целевую функцию оценки. В некоторых ситуациях мы не можем заранее знать, какой же результат должен быть у алгоритма. Мы можем лишь сказать, верно ли отработала программа или нет (допустим, переместился робот в заданном направлении или нет). Это требует разработки новых методов оценки результативности алгоритмов.

Поскольку генетические алгоритмы по своей природе стохастичны, появляется множество возможных способов решения одной и той же задачи. Можно 10 раз запустить одну и ту же программу по созданию алгоритмов и получить 10 разных вариантов решения. Требуется выяснить, сколько же раз необходимо запускать ее для получения приемлемого решения. Это будет предметом дальнейших исследований.

Заключение.

Программа может написать другую программу, требуемую для работы компьютера, и это доказано в проведенной работе.

Библиографический список

1. Knuth, D. E. 2005 The Art of Computer Programming. Addison-Wesley Professional.
2. Springer.
3. PIC16 Family reference manual. [http://www.microchip.com/wwwproducts/ Devices.aspx? product=PIC16F628A](http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC16F628A)
4. Brameier, M.: «On linear genetic programming», Dortmund, 2003
5. W. Banzhaf, P. Nordin, R. Keller, F. Francone, "Genetic Programming – An Introduction. On the Automatic Evolution of Computer Programs and its Application", Morgan Kaufmann, Heidelberg/San Francisco, 1998
6. Poli, R., Langdon, W. B., McPhee, N. F. (2008). A Field Guide to Genetic Programming. Lulu.com, freely available from the internet. ISBN 978-1-4092-0073-4.
7. Ferreira, C. (2001). «Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems». Complex Systems, Vol. 13, issue 2: 87–129.
8. Josh Bongard, Victor Zykov, and Hod Lipson (2006) Resilient Machines Through Continuous Self-Modeling, Science 17 November 2006: Vol. 314 no. 5802 pp. 1118-1121
9. Kory Becker, (2003) Using Artificial Intelligence to Write Self-Modifying/Improving Programs, [http://www.primaryobjects.com/CMS/ Article149](http://www.primaryobjects.com/CMS/Article149)
10. T. Bartz-Beielstein (2006) Experimental research in evolutionary computation : the new experimentalism. Springer.

РАЗРАБОТКА И ПРОВЕРКА АЛГОРИТМА ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Сахопотинов Г.А.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово, Россия*

Одним из современных направлений развития систем управления роботами являются системы роевого интеллекта. Основные их преимущества – это повышенная надежность за счет большого количества участников системы, а также расширение возможностей применения роботов, вплоть до управления нанороботами. В связи с этим актуальной проблемой является разработка алгоритмов управления группами роботов. Кроме того, создание тестовой большой группы роботов может быть весьма затратным, поэтому новые алгоритмы желательно опробовать виртуально, чтобы сократить затраты на разработку и риски. В частности, с такой задачей тестирования алгоритма пришлось столкнуться и в данной рабо-

те, после того как был предложен новый децентрализованный алгоритм управления, требовавший проверки.

Создание алгоритма функционирования группы роботов относится к задачам группового управления. Вот одна из формулировок такой задачи [1]: задача группового управления заключается в отыскании и реализации таких действий каждого отдельного робота группы, которые приводят к оптимальному, с точки зрения некоторого критерия, достижению общей групповой цели.

В общем случае существует два подхода к решению задачи группового управления [1]:

- Централизованный, предполагающий выделение в группе некоторого центра принятия решений, указания которого выполняются всеми роботами в группе.
- Децентрализованный, предполагающий отсутствие каких-либо центров принятия решений.

Были сделаны оценки зависимости времени принятия решения в различных концепциях в зависимости от числа роботов в группе [1] (рисунок 1).

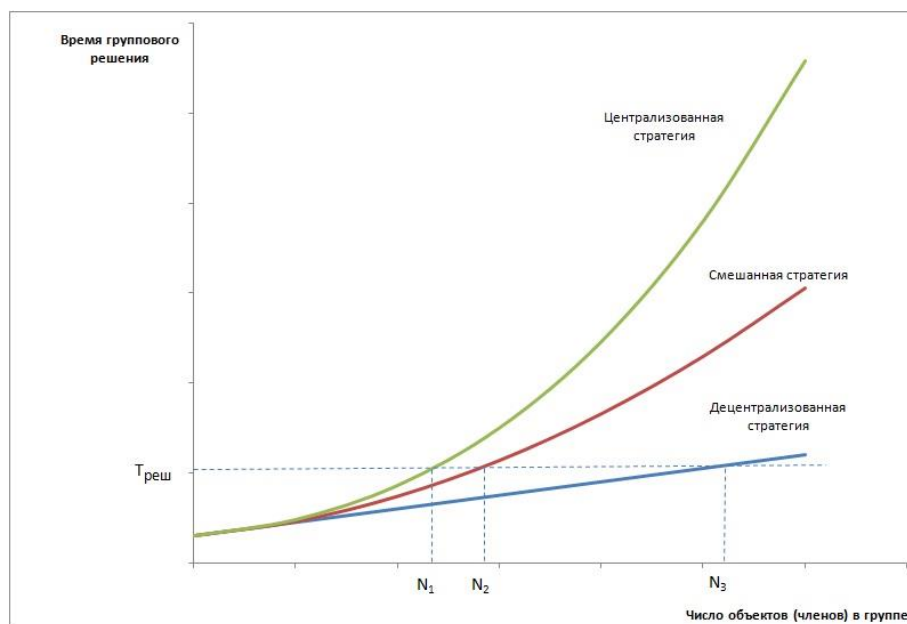


Рисунок 1 – Зависимость времени принятия решения от числа объектов и стратегии управления

Представленный выше график показывает, что децентрализованные алгоритмы могут уменьшить время принятия решения в больших группах роботов. Эти предположения подтверждаются другими авторами [1, 2]. Таким образом, использование децентрализованной стратегии управления может значительно улучшить производительность в больших группах. Это многообещающее направление исследований. Однако в данной области есть ряд проблем, в частности: отсутствие универсальных алгоритмов принятия решений, необходимость организовывать передачу данных через всю группу роботов или принимать решения локально (не всей группой) [3]. Т.к. группа роботов является мультиагентной системой, она может рассматриваться как некое целое. Очевидно, что такого объекта существует ряд внутренних переменных, характеризующих его состояние. В данном случае это могут быть цель и задачи системы, текущее состояние выполнения задач и т.д. В то же время, система состоит из отдельных агентов, обладающих собственными переменными состояния, собственной памятью, недоступной другим агентам. Таким образом, для возможности работы всей системы необходимо каким либо образом хранить общую информацию о ней и передавать ее от одного агента к другому.

Рассмотрим передачу сообщений на примере графа. Роботы в сети обозначим как вершины графа, а дуги – связи между ними. Определим время распространения информа-

ции в системе. Для расчета будем исходить из наихудшего случая, когда источником распространения стал только один робот. Пусть в группе будет N роботов, у каждого робота может быть до k подключений. Время передачи одного сообщения по связи – t , прошедшее время – T .

Время t , необходимое для передачи данных между двумя роботами, можно выразить как

$$t = t_{\pi} + t_{\tau},$$

где t_{π} – время передачи данных по каналу;

t_{τ} – время, затраченное на обработку сигнала сетевым интерфейсом робота.

Очевидно, что $t_{\pi} \ll t_{\tau}$. Т.к. время обработки сигнала не зависит от расстояния между источником и приемником, можно считать что $t \approx t_{\tau}$ и t , таким образом, является фактически постоянной величиной для заданного размера сообщения и типа аппаратной платформы. Если считать, что распространение события начинается с одного робота в группе, то через время t о событии узнает еще k роботов, где k – количество связей первого робота. Затем каждый из k роботов разошлет событие всем связанным с ним роботам и т.д. Т.к. время t всегда одинаковое, количество агентов n , получивших информацию, растет во времени скачкообразно (рисунок 2).

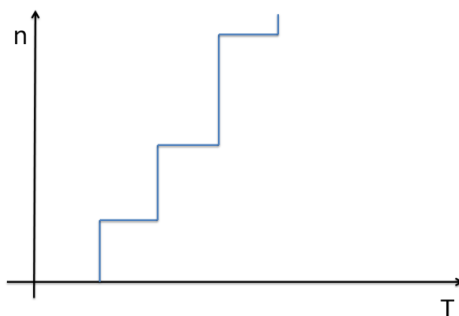


Рисунок 2 – Дискретное распространение информации в группе роботов

Таким образом, процесс распространения информации происходит дискретно во времени, что позволяет рассматривать как переменную не собственно время, а номер дискретного интервала длиной t . Тогда, если для распространения информации по всей группе понадобилось τ интервалов, общее время будет

$$T = t \times \tau.$$

В дальнейшем будем оперировать именно величиной количества интервалов τ , т.к. это позволит абстрагироваться от физических и аппаратных свойств реализации робота.

Т.к. при нормальной работе системы граф связей должен быть связным (если это не так, то невозможно говорить о единой мультиагентной системе), можно считать, что в системе всегда можно выделить подграф, являющийся деревом. Пусть агент, вначале генерирующий событие считается корнем дерева. Тогда распространение информации можно представить на следующей схеме (рисунок 3).

Очевидно, если время прохождения сигнала через связь постоянно, то уровень узла равен количеству интервалов передачи данных, через которые узел получит информацию о событии. Тогда время распространения информации (в интервалах) будет равно высоте дерева. Очевидно, что наибольшая высота дерева, которое можно построить на N узлах – $N-1$. В этом случае граф можно будет представить в виде прямой линии, а степень всех узлов, кроме корня и самого отдаленного от корня равна двум. Отсюда получаем время распространения информации:

$$\tau \leq N - 1.$$

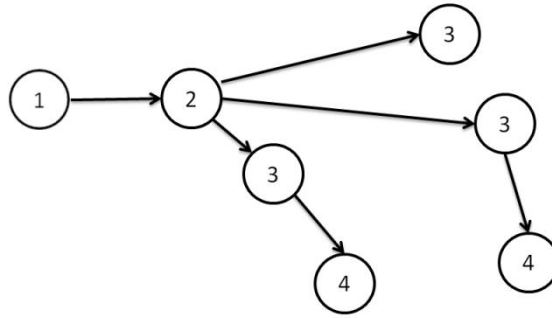


Рисунок 3 – Представление группы роботов в виде дерева

Если же каждый узел в дереве имеет степень не менее 3, можно наложить более сильное ограничение. Рассмотрим минимальный случай с регулярным деревом, когда каждый узел имеет степень k . Тогда количество узлов, получивших информацию на i -м интервале, равно:

$$n_i = (k - 1)n_{i-1}.$$

Очевидно, это формула геометрической прогрессии, причем $n_1=k$, так с корня дерева информация уходит по всем связям, а на других узлах – всем, кроме родительского узла. Тогда количество узлов, охваченных информацией на i -м интервале, будет:

$$n_i = \frac{k(1 - (k-1)^i)}{1 - (k-1)} = \frac{k((k-1)^i - 1)}{k-2}.$$

Приравнивая $n_i = N$, получим следующую формулу для определения количества интервалов для распространения события:

$$\tau = \log_{k-1} \frac{(N(k-2) + 1)}{k}.$$

В результате, время распространения события будет увеличиваться пропорционально логарифму от N , что вполне приемлемо и соответствует ранее приведенным графикам времени принятия решения.

Для проверки алгоритма в больших группах роботов было решено в первую очередь создать имитационную модель, чтобы дополнительно убедиться в правильности сделанных выводов. В качестве задачи для роботов была выбрана задача поиска пути. Во-первых, это одна из классических задач для алгоритмов ИИ, а во-вторых подобные задачи решают и другие исследователи в данной области [2]. Задача формулировалась следующим образом: Группе необходимо посетить все указанные на карте точки, при этом с минимальными затратами времени. При этом считается, что для обследования достаточно чтобы точку посетил хотя бы один робот (посетив ее, он передаст информацию всей группе – об этой части работы алгоритма уже говорилось). В результате по завершению работы алгоритма вся группа будет обладать информацией обо всех точках. Решением задачи является массив роботов с указанием точки, к которой необходимо отправиться. Оценка решения – сумма расстояний, которые нужно будет пройти (а соответственно чем больше расстояния – тем больше будет время – если не учитывать рельеф местности). В данной модели каждый робот предлагал другим свою «кандидатуру» для посещения определенной точки, а другие «сравнивали» эту кандидатуру по эффективности со своим вариантом. Т.к. роботы изначально находились в разных точках, разными были и расстояния до точек посещения.

Для удобства разработки и возможности апробации различных модификаций алго-

ритма было решено использовать методы ООП. Каждый робот был представлен в виде нескольких классов (рисунок 4).

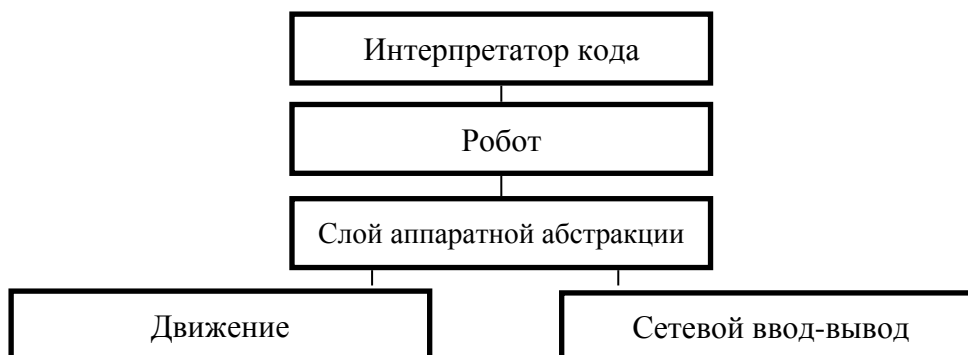


Рисунок 4 – Реализация модели робота в виде классов

Кроме того, отдельные классы были предусмотрены для отрисовки движений роботов с помощью OpenGL. При этом отрисовка происходила по следующей схеме (рисунок 5).



Рисунок 5 – Релизация отрисовки

Фактически код каждого робота выполнялся в отдельном потоке, чтобы достичь максимального сближения с реальными условиями и исключить влияние роботов друг на друга. С другой стороны, это привело к невозможности прямой оценки времени принятия решения, т.к. многопоточность в любом случае ненастоящая в ОС системы Windows.

Для программирования задач был определен язык макросов и ряд классов для разбора программы, которые непосредственно отдавали «приказы» роботу.

В результате моделирования измерялось количество сообщений, прошедших через сеть. Напрямую оценить время принятия решения было невозможно, т.к. используемая ЭВМ не могла одновременно обработать 100 потоков, однако его можно было вычислить, зная количество сообщений и время передачи одного сообщения через сеть. Также время принятия решений для модели было оценено с помощью формулы. В результате был получен следующий график на рисунке 6), где красная линия – теоретические значения и синяя – значения, полученные на модели.

Полученные результаты имеют несколько важных свойств. Например, предложенный алгоритм не требует заранее заданного количества роботов в группе. Это увеличивает надежность системы, так как отказы роботов не приведут к значительной потере производительности, или какой-либо информации. Увеличение размера группы не приводит к резкому падению производительности системы ни в модели, ни в теории. На самом деле, потеря времени уходит только на связи роботов друг с другом. Алгоритм не требует внешнего

хранения данных, как это происходит в некоторых исследованиях [4]. Эксперименты проводились на больших группах, в то время как многие другие исследования используют количество роботов, не превышающей десятки [5, 6]. И нет никаких сложных расчетов, как во многих других работах [7, 8].

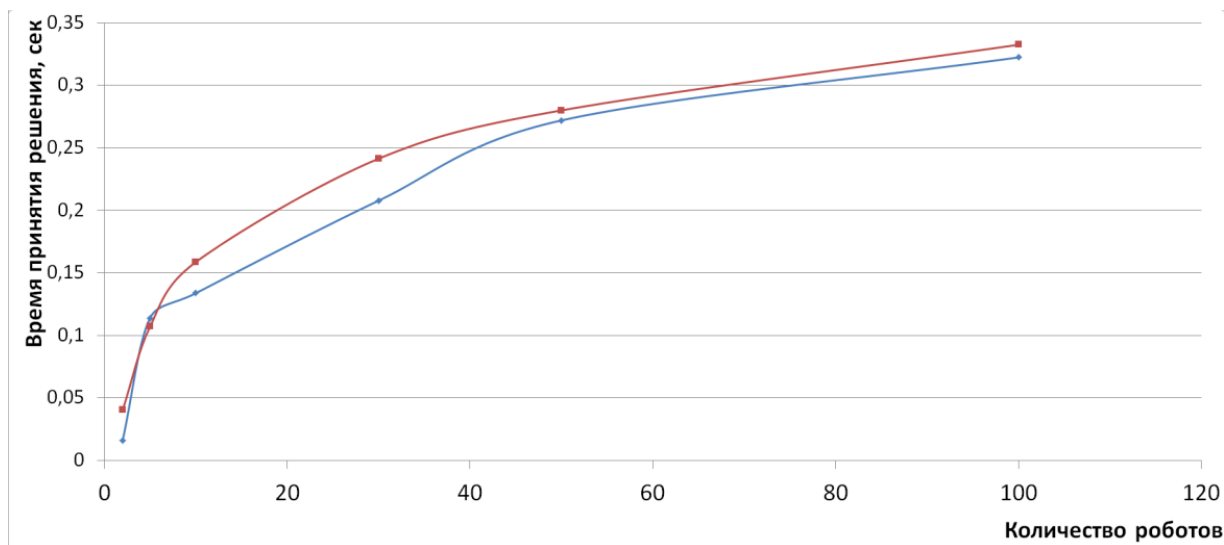


Рисунок 6 – Сравнение результатов имитационного моделирования и расчетной кривой

Похоже, система роевого интеллекта может быть построена из большого числа очень простых блоков. Разработанный алгоритм очень хорошо подходит для реализации такой системы, поскольку он обеспечивает медленный рост времени принятия решения. Децентрализация позволяет упростить обмен данными между роботами в системе, и обеспечить относительно высокую скорость по сравнению с централизованной системой.

Библиографический список

1. О проблеме группового управления роботами [Журнал] / авт. Юревич Е.И. // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2004 г. - 2.
2. Искусственный интеллект. Современный подход [Книга] / авт. Стюарт Рассел Питер Норвиг. - [б.м.] : Вильямс, 2007.
3. Сб. научн.трудов Всероссийской научной школы [Конференция] / авт. В.Э. Карпов // Коллективное поведение роботов. Желанное и действительное. - 2011.
4. Децентрализованное управление группой роботов [Книга] / авт. Галиуллин Венер. - [б.м.] : LAP Lambert Academic Publishing, 2013
5. Waibel, M., D. Floreano and L. Keller, 2011. A quantitative test of Hamilton's rule for the evolution of altruism. PLoS Biol, 9.
6. Lee, D. and R. Mark, 2010. Decentralized Control of Unmanned Aerial Robots for Wireless Airborne Communication Networks. International Journal of Advanced Robotic Systems, 7(3).
7. Ducatelle, F., G. Di Caro and L. Gambardella, 2010. Cooperative Self-Organization in a Heterogeneous Swarm Robotic System. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, ACM.
8. Pini, G., A. Brutschy and M. Birattari, 2009. Interference reduction through task partitioning in a robotic swarm. 6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Universite Libre de Bruxelles.

ФОРМАЛИЗАЦИИ И ПРОЦЕДУРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИТ-СЕРВИСОВ

Зимин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Введение. Поставщик ИТ-услуг регулярно решает задачу календарного планирования внедрения ИТ-сервисов. При очередном решении ему важно конкретизировать формальную постановку задачи в соответствии со сложившейся обстановкой и выбрать способ решения.

Пусть $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ – множество ИТ-сервисов, подлежащее внедрению в очередном плановом периоде. Каждый сервис будем описывать кортежем (k_i, b_i, p_i) , где k_i описывает «ценность» сервиса для потребителя [1], b_i – затраты на разработку сервиса, p_i – вероятность возникновения инцидентов в эксплуатационной среде при внедрении сервиса. На рисунке 1 приведен неориентированный граф (1а), описывающий взаимные связи для четырех сервисов и их связи с эксплуатационной средой, а также соответствующая графу симметричная матрица (1б), в которой диагональные элементы описывают количество связей сервисов с эксплуатационной средой, а не диагональные – количества связей между соответствующими сервисами.

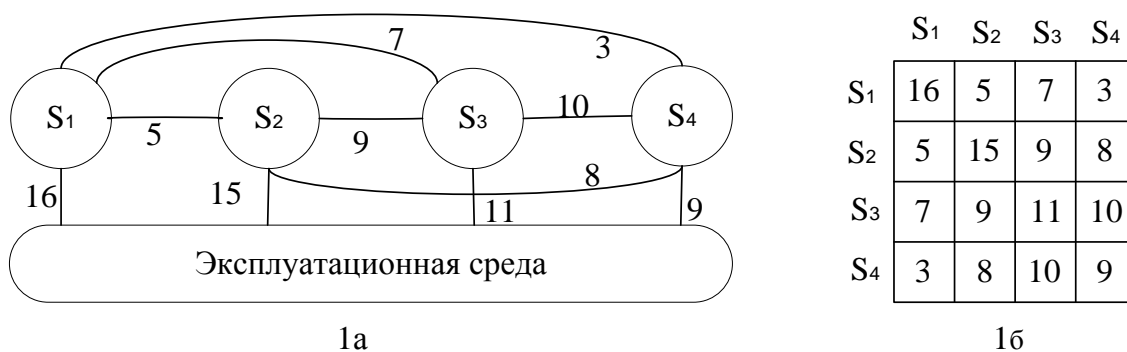


Рисунок 1 – Взаимные связи сервисов и связи с эксплуатационной средой

Матрица связей для множества сервисов $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица связей планируемых к внедрению сервисов

| | s ₁ | s ₂ | · | s _i | · | s _n |
|----------------|-----------------|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|
| s ₁ | a ₁₁ | a ₁₂ | · | a _{1i} | · | a _{1n} |
| s ₂ | a ₂₁ | a ₂₂ | · | a _{2i} | · | a _{2n} |
| / | · | · | · | · | · | · |
| s _i | a _{i1} | a _{i2} | · | a _{ii} | · | a _{in} |
| · | · | · | · | · | · | · |
| s _n | a _{n1} | a _{n2} | · | a _{ni} | · | a _{nn} |

Вероятность p_i возникновения инцидентов при внедрении сервиса s_i связана с числом новых связей, которые проходят проверку в эксплуатационной среде. Число этих связей зависит от порядка внедрения сервисов. Так, если первым внедряется сервис s_1 (см. рисунок 1), то таких связей будет 16, а если сервис s_1 внедряется после сервиса s_2 , то таких связей будет 21 (16+5). То есть вероятность возникновения инцидентов в эксплуатационной

среде зависит от порядка внедрения сервисов и является одним из возможных показателей качества календарного плана. Дадим оценку этой вероятности на основе связей сервисов, представленных в матрице, таблица 1.

Согласно теореме умножения вероятностей [2], вероятность $p(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ возникновения инцидентов при внедрении сервисов в соответствии с порядком $(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ будет:

$$p(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n}) = p(s_{i_1})p(s_{i_2} | s_{i_1}) \dots p(s_{i_n} | s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_{n-1}}). \quad (1)$$

Положим

$$p(s_{i_j} | s_{i_1}, \dots, s_{i_{j-1}}) = \frac{a_{i_j i_j} + \sum_{k=1}^{j-1} a_{i_j i_k}}{\sum_{j=1}^n a_{i_j} + \frac{1}{2} \sum_{i_j \neq i_j} a_{i_j i_j}}. \quad (2)$$

Заметим, что знаменатель в (2) представляет собой сумму всех неповторяющихся связей сервисов и эксплуатационной среды и является константой, числитель – сумму связей сервиса с эксплуатационной средой и с уже внедренными сервисами. Обозначим знаменатель через $A\{s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n}\}$ Тогда

$$p(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) = \frac{1}{A\{s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n}\}} \prod_{j=1}^n (a_{i_j i_j} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{j-1} a_{i_j i_k}) \quad (3)$$

Еще одним показателем качества календарного плана выберем упущенную выгоду поставщика услуг [3], возникающую в том случае, если внедрение сервисов с меньшей удельной «ценностью» предшествует внедрению сервисов, имеющих большую удельную «ценность». Если в качестве удельной «ценности» сервиса определить величину k_i/b_i , то оптимальным по упущенной выгоде будет упорядочение сервисов по убыванию величины k_i/b_i [3]. Пусть $(s_{m_1}, s_{m_2}, \dots, s_{m_n})$ – оптимальная по упущенной выгоде последовательность внедрения сервисов. Перенумеруем сервисы, положив $m_1 = 1, m_2 = 2, \dots, m_n = n$. Тогда оптимальной по упущенной выгоде будет последовательность $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$. Качество произвольного порядка $(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ внедрения сервисов оценим числом m инверсий [4], то есть количеством нарушений порядка следования сервисов в произвольной последовательности относительно оптимального порядка. Так, если $n=8$, то есть оптимальной является последовательность номеров сервисов (12345678), а произвольная последовательность номеров описывается порядком (38524671), то $m(38524671) = 15$, таблица 2.

Заметим, что для вычисления числа инверсий для конкретного элемента последовательности достаточно знать его номер и номера элементов, находящихся слева.

Варианты постановок задач календарного планирования внедрения ИТ-сервисов. В зависимости от обстановки во время очередного решения задачи и имеющейся информации ЛПР¹ может выбрать, в частности, одну из следующих формализаций задач календарного планирования.

$$p(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) = \frac{1}{A\{s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n}\}} \prod_{j=1}^n (a_{i_j i_j} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{j-1} a_{i_j i_k}) \rightarrow \min_{\{(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})_{||=1, n!}\}}. \quad (4)$$

¹ ЛПР – лицо, принимающее решение

Таблица 2 – Иллюстрация правила определения числа инверсий

| № п/п/Наименование | Номер текущего элемента последовательности | Общее количество элементов с номерами, меньше текущего | Количество элементов с меньшими номерами слева от рассматриваемого | Количество инверсий для рассматриваемого элемента |
|---|--|--|--|---|
| 1 | 3 | 3-1=2 | 0 | 2 |
| 2 | 8 | 8-1=7 | 1 | 6 |
| 3 | 5 | 5-1=4 | 1 | 3 |
| 4 | 2 | 2-1=1 | 0 | 1 |
| 5 | 4 | 4-1=3 | 2 | 1 |
| 6 | 6 | 6-1=5 | 4 | 1 |
| 7 | 7 | 7-1 | 5 | 1 |
| 8 | 1 | 1-1=0 | 0 | 0 |
| Общее число инверсий в последовательности | | | | 15 |

Учитывая, что $A\{s_{i_1} s_{i_2} \dots s_{i_n}\}$ есть постоянная, представим задачу 1 в виде (5).

$$q(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) = \prod_{j=1}^n (a_{i_j j} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{j-1} a_{i_j k}) \rightarrow \min_{\{(s_{i_1} s_{i_2} \dots s_{i_n})_{i_l=1, n!}\}} \quad (5)$$

В этом случае ЛПР сосредоточивается на минимизации риска возникновения инцидентов в эксплуатационной среде.

$$m(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) \rightarrow \min_{\{(s_{i_1} s_{i_2} \dots s_{i_n})_{i_l=1, n!}\}} \quad (6)$$

В задаче (2) ЛПР стремится минимизировать упущенную выгоду.

$$q(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) = \prod_{j=1}^n (a_{i_j j} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{j-1} a_{i_j k}) \rightarrow \min_{\{(s_{i_1} s_{i_2} \dots s_{i_n})_{i_l=1, n!}\}} \quad (7)$$

$$m(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) \leq m^* \quad (8)$$

В задаче 3 ЛПР хочет минимизировать риск возникновения инцидентов, но при этом накладывает ограничение на величину упущенной выгоды.

$$m(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) \rightarrow \min_{\{(s_{i_1} s_{i_2} \dots s_{i_n})_{i_l=1, n!}\}} \quad (9)$$

$$q(s_{i_1}, \dots, s_{i_n}) = \prod_{j=1}^n (a_{i_j j} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{j-1} a_{i_j k}) \leq q^* \quad (10)$$

Задача 4 является обратной к задаче 3. В ней ЛПР минимизирует упущенную выгоду, но при заданном ограничении на риск возникновения инцидентов.

Для первых двух задач разработано множество эффективных процедуры решения [5].

Применение метода сетевого программирования для решения задач 3, 4. Условием применения метода является одинаковое структурное представление критериальной функции $q(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ и функции ограничений $m(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ [6]. Такое представление приведено на рисунке 2.

В силу структурной подобности функций $q(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ и $m(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ метод се-

тевого программирования может быть применен для решения задач 3 и 4. Опишем процедуру решения для задачи 3. В соответствии с методом для решения задачи 3 необходимо последовательно решить n оценочных задач.

Задача 1.

$$q(s_{i_1}) \rightarrow \min, m(s_{i_1}) \leq m^* \quad (11)$$

Задача 2.

$$q(s_{i_1})q(s_{i_2} | s_{i_1}) \rightarrow \min, m(s_{i_1} s_{i_2}) \leq m^* \quad (12)$$

Задача n .

$$q(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n}) = q(s_{i_1})q(s_{i_2} | s_{i_1}) \dots q(s_{i_n} | s_{i_1} s_{i_2} \dots, s_{i_{n-1}}) \rightarrow \min \quad (13)$$

$$m(s_{i_1} s_{i_2} \dots, s_{i_n}) \leq m^* \quad (14)$$

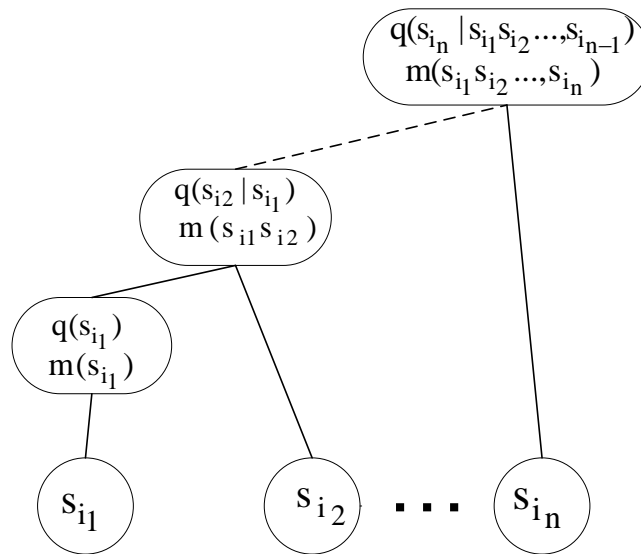


Рисунок 2 – Структурно подобное представление функций $q(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$ и $m(s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_n})$

Пример. Рассмотрим решение задачи (7-8) для случая, представленного рисунком 1. Пусть $m^* = 3$ и оптимальной по упущенной выгоде (упорядоченной по убыванию показателя k_i / b_i) будет последовательность (s_1, s_2, s_3, s_4) . Допустимые решения первой оценочной задачи (11) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Допустимые решения задачи (11)

| | | | | |
|--------------|----|----|----|---|
| i_1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $q(s_{i_1})$ | 16 | 15 | 11 | 9 |
| $m(s_{i_1})$ | 0 | 1 | 2 | 3 |

Допустимые решения второй задачи (12) представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Допустимые решения задачи (12)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|------------|-----|-----|-----|------------|------------|-----|------------|
| $i_1 i_2 / (i_2 i_1)$ | 12 | 13 | <u>14</u> | 21 | 23 | 24 | <u>31</u> | <u>32</u> | 34 | <u>41</u> |
| $q(s_{i_1})q(s_{i_2} s_{i_1})$ | 16* | 16* | <u>16*</u> | 15* | 15* | 15* | <u>11*</u> | <u>11*</u> | 11* | <u>9*</u> |
| | 20= | 18= | <u>12=</u> | 21= | 20= | 17= | <u>23=</u> | <u>24=</u> | 19= | <u>19=</u> |
| | 320 | 288 | <u>162</u> | 315 | 300 | 255 | <u>253</u> | <u>264</u> | 208 | <u>171</u> |
| $m(s_{i_1} s_{i_2})$ | 0 | 0 | <u>0</u> | 1 | 0 | 0 | <u>1</u> | <u>2</u> | 0 | <u>3</u> |

Оптимальные решения задачи для различных значений m выделены курсивом и подчеркиванием. Допустимые решения третьей оценочной задачи приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Допустимые решения третьей оценочной задачи

| | | | | | |
|---|--|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| $i_1, i_2, i_3 / (i_3 i_1, i_2)$ | <u>142</u> | 312 | 314 | 321 | <u>412</u> |
| $q(s_{i_1})q(s_{i_2} s_{i_1})q(s_{i_3} s_{i_1}, s_{i_2})$ | <u>162*</u> <u>28=</u> <u>4536</u> | 253* 27= 6831 | 253* 20= 5060 | 264* 28= 7392 | <u>171*</u> <u>28=</u> <u>4788</u> |
| $m(s_{i_1} s_{i_2}, s_{i_3})$ | <u>2</u> | 2 | 3 | 3 | <u>3</u> |

Оптимальные решения задачи для различных значений m выделены курсивом и подчеркиванием. Допустимые решения последней (четвертой) задачи приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Допустимые решения четвертой задачи

| | | |
|---|---|------------------------|
| i_1, i_2, i_3, i_4 | <u>1423</u> | 4123 |
| $q(s_{i_1}, s_{i_2}, s_{i_3}, s_{i_4})$ | <u>4536*</u> <u>37=</u> <u>167832</u> | 4788* 37= 177156 |
| $m(s_{i_1} s_{i_2} s_{i_3} s_{i_4})$ | <u>2</u> | 3 |

Оптимальное решение четвертой оценочной задачи является искомым решением исходной задачи (7-8).

Решение «оценочных» задач в силу малой размерности не представляет сложности и может быть выполнено перебором ограниченного числа вариантов. Для получения точного решения исходной задачи (7-8) можно использовать метод ветвей и границ, в котором полученное решение n -ой задачи (13-14) использовать в качестве нижней границы.

Заключение. Приведенный перечень формализаций задачи календарного планирования не является исчерпывающим и зависит, в том числе, от «зрелости» ИТ-процессов поставщика ИТ-услуг, которая определяется, в том числе, информационным содержанием его баз данных. Если последние позволяют оценивать более сложные показатели эффективности календарного плана и строить необходимые зависимости, то это позволит ЛПР увеличить число возможных структуризаций задачи календарного планирования внедрения ИТ-сервисов.

Библиографический список

1. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ИТIL): учеб. пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей, М., 1969, 576 с.
3. Zimin V.V. Mechanisms of optimum control of changes of IT-services /V.V. Zimin // Modeling and Information Technologies: Selected Papers of the International Scientific School «Paradigma» (Summer-2015, Varna, Bulgaria)/ Compiling Editor Dr.Sc., Prof. O.Ja. Kravets. - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2015. – p.56-64.
4. Курош, А.Г. Курс высшей алгебры. – М: Наука, 1068. – 431 с.
5. Вагнер, Г. Основы исследования операций/ Г.Вагнер. – М.: Мир,1972. – 198 с.
6. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.10 / И.В. Буркова. – М.: ИПУ, 2012. – 181 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДОБИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ТИПОВЫМИ МОДЕЛЯМИ ОБЪЕКТОВ¹

Макаров Г.В., Евтушенко В.Ф., Лысенко Н.Л.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Применительно к системам автоматического регулирования (САР), широко применяемых в практике для поддержания заданных значений и (или) траекторий изменений выходных переменных натуральных объектов, в качестве целевого показателя при оценивании подобия САР [1] целесообразно использовать среднеквадратический критерий.

Ниже приведены условия, схема и результаты аналитических и численных исследований подобия САР по отклонению с типовыми моделями [2] преобразующих каналов объекта регулирования.

Аналитические методы решения задач оценивания подобия САР имеют существенные ограничения при их практическом применении и во многих случаях не позволяют получить адекватные результаты. Поэтому их применение в задаче оценивания подобия САР рассмотрены на примере приведенной в [2] задачи синтеза оптимальной по среднеквадратическому критерию динамической системы автоматического регулирования по отклонению, в результате решения которой был получен оптимальный регулятор. САР с таким регулятором, при условии, что автокорреляционная функция (АКФ) приведенных к выходу возмущений $r_{np}(\theta)$ представлена выражением

$$r_{np}(\theta) = \sigma_{np}^2 \cdot e^{-\alpha \cdot |\theta|}, \quad (1)$$

где σ_{np}^2 – дисперсия приведенного возмущения; α – коэффициент АКФ; θ – время сдвига между сечениями ряда приведенных возмущений, характеризуется минимальным значением критерия точности в виде

$$q = \sigma_{\varepsilon}^2 = 2\alpha\sigma_{np}^2 \int_0^{\tau_u} e^{-2\alpha\tau_u} d\tau_u. \quad (2)$$

Значение критерия (2) зависит только от свойств возмущений – дисперсии σ_{np}^2 , коэффициента α , а также времени запаздывания канала регулирования объекта τ_u .

Преобразование выражения (2) с учетом приближенного равенства критериев подобия САР [1] дает следующее выражение, которое можно рассматривать как условие подобия САР с оптимальным регулятором

$$\left| \sqrt{\sigma_{np1}^2 (1 - e^{-2\alpha_1\tau_{u1}})} - \sqrt{\sigma_{np2}^2 (1 - e^{-2\alpha_2\tau_{u2}})} \right| \leq 0,05, \quad (3)$$

где индексы «1» и «2» обозначают номер системы.

Оптимальный регулятор является скорее теоретической схемой, нежели применяемым на практике инструментом. Наиболее распространенными на практике являются САР с П, ПИ, ПИД законами регулирования, для которых получить аналитически условия подобия САР крайне затруднительно, рациональнее воспользоваться численными методами.

При применении моделирования и численных методов исследования подобия САР

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 15-07-01972

использовали среднеквадратичный критерий q точности регулирования в виде

$$q = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [y^*(i) - y(i)]^2, \quad (4)$$

где N – интервал моделирования; y – выходная переменная объекта (системы) регулирования; i – дискретное время; надстрочный индекс «*» означает заданное значение.

Приближенное равенство целевых критериев эффективности подобных САР выражается соотношением

$$|q_j^n - q_l^n| \leq 0,05; \quad j \neq l; \quad j, l = \overline{1, L}, \quad (5)$$

где j, l – номер САР; L – количество САР; надстрочный индекс «н» означает нормированное значение.

Математическая модель канала преобразования регулирующих воздействий представлена в операторной форме в виде

$$\varphi(s) = \frac{k_u}{T_u s + 1} \cdot e^{-\tau_u s}, \quad (6)$$

где k_u – коэффициент передачи; T_u – постоянная времени инерции; τ_u – время чистого запаздывания.

Для объекта регулирования (6) по методике, изложенной в [2], рекомендуется ПИ-закон регулирования с передаточной функцией

$$f_{\text{ПИ}}(s) = k_{\text{П}} + \frac{k_{\text{И}}}{s}, \quad (7)$$

где $k_{\text{П}}$ и $k_{\text{И}}$ – коэффициенты при пропорциональной и интегральной части закона регулирования.

Численные исследования были проведены с помощью имитационного моделирующего комплекса [3] в следующих диапазонах условий моделирования.

Приведенные к выходу возмущения:

$$1,0 \leq \sigma_{np}^2 \leq 10,0, \Delta \sigma_{np}^2 = 1;$$

$$0,01 \leq \alpha \leq 0,2, \Delta \alpha = 0,01.$$

Модель объекта:

$$1,0 \leq k_u \leq 10,0, \Delta k_u = 1;$$

$$1 \leq \tau_u \leq 100, \Delta \tau_u = 1;$$

$$\frac{\tau_u}{T_u} = \frac{1}{2}; \frac{1}{5}; \frac{1}{10}.$$

Приведенные к выходу объекта возмущения представляли модельными и натурно-модельными [4] стационарными динамическими временными рядами с заданной автокорреляционной функцией $r_{np}(\theta)$; значения возмущений формировали с помощью алгоритма в виде замкнутой динамической системы [5].

При проведении численных экспериментов поочередно изменяли значения характеристик приведенных к выходу возмущений и параметров модели объекта, фиксируя при этом остальные. После их изменения находили оптимальные по минимуму среднеквадратической ошибки значения параметров закона регулирования, используя поисковые методы оптимизации, в частности, основанные на методе деформируемых многогранников [6].

В результате проведения численных экспериментов получили семейства кривых, характеризующих изменение критерия качества регулирования САР от времени запаздывания τ_u . На рисунке 1 для примера представлено семейство кривых при соотношении $\frac{\tau_u}{T_u} = \frac{1}{10}$, характеризующих влияние запаздывания на значение критерия качества регулирования САР. Форма кривой при этом зависит от самой величины запаздывания, соотношения запаздывания и постоянной времени модели объекта и величины спада АКФ приведенных возмущений.

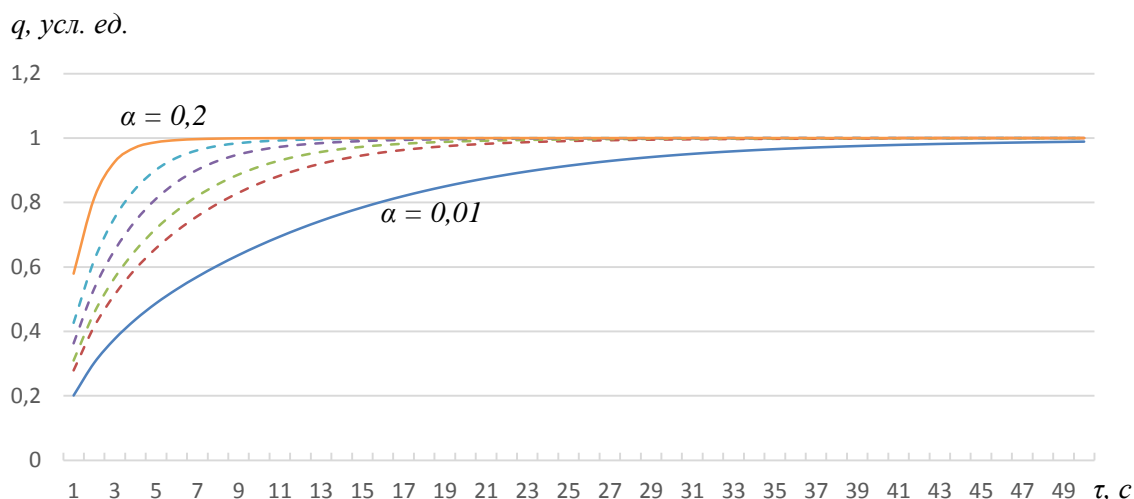


Рисунок 1 – Изменения значений критерия качества регулирования

Результаты исследований представлены также в виде следующих условий (критерия) подобия САР исследованной структуры

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\tau_{u1}}{T_{u1}} - \frac{\tau_{u2}}{T_{u2}} \right| \leq 0,05; \\ \left| \sigma_{np1} - \sigma_{np2} \right| \leq 0,05; \\ \left| \alpha_{np1} \cdot \tau_{u1} - \alpha_{np2} \cdot \tau_{u2} \right| \leq 0,05; \\ k_{II1} = k_{II2} \cdot \frac{k_1 \tau_1 T_2}{k_2 \tau_2 T_1} \cdot e^{\frac{1}{\beta} (\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}; \\ k_{I1} = k_{I2} \cdot \frac{k_2 \tau_2}{k_1 \tau_1} \cdot e^{\frac{1}{\beta} (\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}, \end{array} \right. \quad (8)$$

где индексы «1» и «2» обозначают номер системы.

Соотношения для пересчета параметров закона регулирования k_u и k_n были получены эвристически путем аппроксимации кривых зависимости k_u и k_n для подобных САР от параметров моделей преобразующих каналов k , T , τ объекта регулирования и коэффициента α АКФ приведенных возмущений. Это соотношение получено при условии равенства нулю средних уровней приведенных возмущений. В противном случае выражение для пересчета коэффициента k_{u1} необходимо дополнить отношением средних уровней приведенных возмущений для первого y_{np1} и второго y_{np2} объектов регулирования.

Аналогичным образом были получены условия для САР с моделью преобразующих каналов объекта регулирования, представленной последовательным соединением звена чистого запаздывания и интегрального звена, и с П законом регулирования

$$\begin{cases} |\sigma_{np1} - \sigma_{np2}| \leq 0,05; \\ |\alpha_{np1} \cdot \tau_{u1} - \alpha_{np2} \cdot \tau_{u2}| \leq 0,05; \\ k_{П1} = k_{П2} \cdot \frac{k_1 \tau_1}{k_2 \tau_2} \cdot e^{2 \cdot (\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}. \end{cases} \quad (9)$$

Получение условий подобия для САР, модели объектов регулирования в которых представлены другими структурами, в частности, последовательным соединением звена чистого запаздывания и интегрального звена, модели объекта с рециклом позволит широко применять методы теории подобия систем регулирования на практике для исследования, проектирования и пуско-наладки промышленных систем.

Библиографический список

1. Мышляев Л.П. Понятия и условия подобия систем управления / Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г., Макаров Г.В., Ивушкин К.А. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 56-58.
2. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В.Я. Ротач. М.: Энергия, 1973. – 439 с.
3. Макаров Г.В. Применение имитационного комплекса для совместного моделирования внешних воздействий, объектов и систем управления //Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 8-1. С. 34-39.
4. Мышляев Л.П. Применение физических моделей в задачах испытания и настройки систем управления (на примере установки для сжигания водоугольного топлива) / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, В.Ф. Евтушенко, В.Н. Бурков, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 211–218.
5. Мышляев Л.П. Генератор модельных воздействий с заданными свойствами как замкнутая динамическая система/ Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, г. Кемерово, 16-17 октября 2014 г.; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. с.402-403.
6. Рыков А.С. Методы системного анализа: оптимизация / А.С. Рыков. – М: НПО «Изд-во «Экономика», 1999. – 255 с.

ОЦЕНИВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ПОДОБИЯ ОБЪЕКТОВ И ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПОДОБНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ¹

Буркова Е.В., Евтушенко В.Ф., Бурлаченко А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Значения показателей эффективности систем управления любой структуры существенно зависят как от динамических свойств каналов преобразования изменений входных воздействий управляемых объектов, так и от характеристик самих этих воздействий. При исследовании систем управления целесообразно оценивать не только их подобие в целом,

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 15-07-01972

но и совместного подобия объектов управления и их внешних воздействий.

В [1] сформулированы утверждения, которые определяют условия такого подобия на конечном интервале времени в виде соотношений, отражающих в общем виде точное или приближенное равенство эффектов влияния изменений входных воздействий на изменения выходных воздействий объекта управления. В частности, это условие может быть записано через дисперсии выходных переменных объекта управления, тогда подобными будут считаться объекты, для которых выполняется условие

$$\left| \sigma_{yl}^{H^2} - \sigma_{yj}^{H^2} \right| \leq 0,05, \quad (1)$$

где $\sigma_{yl}^{H^2}$ и $\sigma_{yj}^{H^2}$ — нормированные значения дисперсий выходных переменных объектов управления; значение 0,05 характеризует допустимый уровень неопределенности для совместно подобных объектов и воздействий.

В задачах оперативного оценивания совместного подобия объектов и воздействий полезно располагать более простыми соотношениями (критериями), выраженными, в частности, через значения параметров динамических моделей преобразующих каналов объектов управления и свойств его воздействий.

Поэтому актуальными являются исследования, направленные на получение таких, сравнительно простых соотношений. При этом полезно оценить совместное подобие объектов управления и их воздействий, являющихся частью подобных систем управления. Т.е. ответить на вопрос, являются ли совместно подобными объекты и воздействия в подобных системах управления и при каких условиях?

В данном сообщении приведены условия и результаты численных исследований для оценивания совместного подобия объектов регулирования и входных воздействий в подобных системах автоматического регулирования (САР) по отклонению. Объект регулирования был представлен в виде одномерного объекта, функционирующего в условиях неконтролируемых возмущений, которые при моделировании были приведены к регулирующему входу [2]. Математические модели каналов преобразования регулирующих воздействий были представлены в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания и

1) инерционного звена первого порядка

$$\varphi(s) = \frac{k}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s}; \quad (2)$$

2) звена второго порядка

$$\varphi(s) = \frac{k}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} \cdot e^{-\tau s}; \quad (3)$$

3) интегрального звена с отсечкой

$$\varphi(s) = \frac{k}{s} \cdot (1 - e^{-t_{om} s}) \cdot e^{-\tau s}, \quad (4)$$

где k — коэффициент передачи объекта; T , T_1 и T_2 — постоянные времени; t_{om} — время отсечки; τ — время запаздывания.

Приведенные к регулирующему входу объекта возмущения были представлены в виде стационарного временного ряда с экспоненциально спадающей автокорреляционной функцией (АКФ)

$$r_{np}(\theta) = \sigma_{np}^2 \cdot e^{-\alpha|\theta|}, \quad (5)$$

где θ — время сдвига между сечениями ряда приведенных возмущений, σ_{np}^2 — дисперсия приведенного возмущения, α — коэффициент автокорреляционной функции (АКФ).

Исследование проводили в два этапа. На первом из них оценивали условия (критерий) совместного подобия объектов регулирования, модели которых представлены выражениями (2) – (4), и приведенных к регулируемому входу возмущений с АКФ (5). Полученные результаты исследования совместного подобия представлены в виде следующих соотношений

– для математической модели (2)

$$\begin{cases} \left| k_l \sigma_{np_l} - k_j \sigma_{np_j} \right| \leq 0,05, \\ \left| T_l \alpha_l - T_j \alpha_j \right| \leq 0,05, \\ \left| \tau_l / T_l - \tau_j / T_j \right| \leq 0,05; \end{cases} \quad (6)$$

– для математической модели (3)

$$\begin{cases} \left| k_l \sigma_{np_l} - k_j \sigma_{np_j} \right| \leq 0,05, \\ \left[\begin{array}{l} \left| T_{1l} \alpha_l - T_{1j} \alpha_j \right| \leq 0,05, \\ \left| T_{2l} \alpha_l - T_{2j} \alpha_j \right| \leq 0,05, \end{array} \right. \\ \left| \tau_l / T_{1l} - \tau_j / T_{1j} \right| \leq 0,05; \end{cases} \quad (7)$$

– для математической модели (4)

$$\left| k_j \cdot t_{omej} \cdot \sigma_{npj} \right| - \left| k_l \cdot t_{omcl} \cdot \sigma_{npl} \right| \leq 0,05 \quad (8)$$

Второй этап исследования проводили по следующей схеме. По результатам исследований, приведенным в настоящем сборнике (сообщение авторов Г.М. Макарова, В.Ф. Евтушенко, Лысенко Н.Л. "Исследование подобия систем автоматического регулирования с типовыми моделями объектов") было отобрано множество подобных САР, в которых объект регулирования был представлен моделью (2), а приведенные к регулируемому входу возмущения – в виде стационарного временного ряда с экспоненциально спадающей АКФ (5).

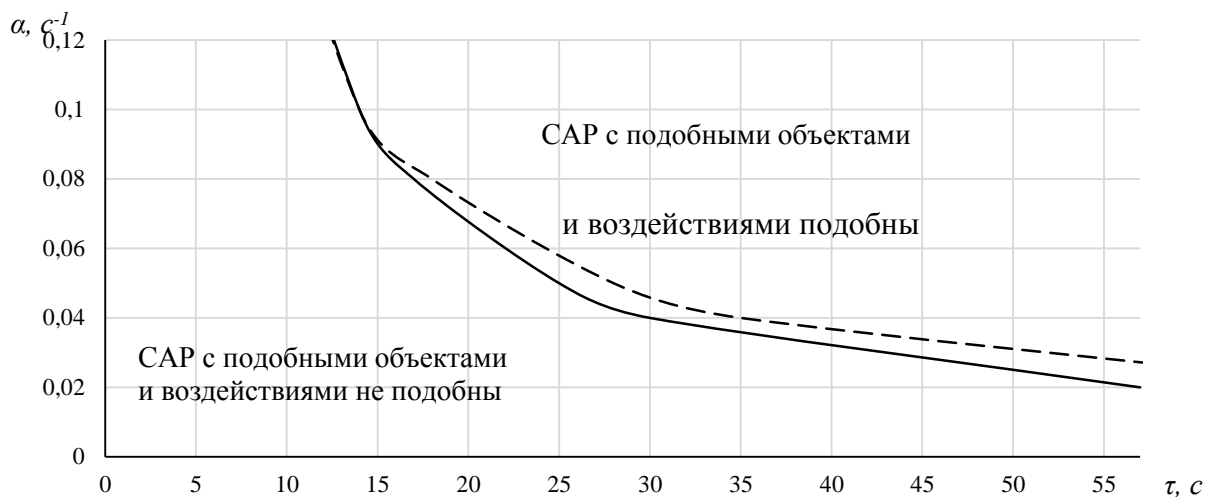
Для каждой САР, входящей в это множество, проверяли в соответствии с выражением (6) совместное подобие объектов регулирования и приведенных возмущений. Классифицировали САР по признаку выполнения и не выполнения условия (6) совместного подобия объектов и воздействий. Для каждой системы фиксировали значения параметров модели k , T , τ , приведенных возмущений α , σ_{np}^2 , а также нормированные значения среднеквадратических критериев точности регулирования q_j и q_l и нормированных значений дисперсий $\sigma_{yl}^{H^2}$ и $\sigma_{yj}^{H^2}$ выходных переменных объектов управления.

По соотношениям (1) и (6) оценивали совместное подобие объектов регулирования и приведенных возмущений для каждой САР. Результаты совместного подобия объектов регулирования и приведенных возмущений сопоставляли с подобием САР.

Для наглядности результаты исследований представлены ниже на рисунке, где пространство совместного подобия объекта регулирования и приведенных возмущений разделено на две области в зависимости от значений параметра модели канала преобразования регулирующих воздействий (запаздывания τ) и приведенного возмущения (коэффициента АКФ α). Области подобия, разделенные сплошной кривой, соответствуют оптимально настроенным по среднеквадратическому критерию точности САР, а пунктирной – для САР,

настроенных по одной из приближенных методик [4].

Таким образом, для исследованных на втором этапе условий выполнение соотношений (6) соответствует совместному подобию САР, объектов регулирования и приведенных возмущений, если значения параметра τ (запаздывания) модели канала преобразования регулирующих воздействий и параметра α (коэффициента АКФ) приведенного возмущения принадлежат области совместного подобию САР, объектов и воздействий. В противном случае выполнения условия (6) совместного подобию объектов и воздействий не гарантирует подобию САР.



Рисунок— Области подобию САР с подобными объектами и воздействиями

Библиографический список

1. Мышляев Л.П. Понятия и условия подобию систем управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Д.Г. Березин, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2012, №12, — С. 58-60.
2. Барковский В.В. Методы синтеза систем управления / В.В. Барковский, В.Н. Захаров, А.С. Шаталов. — М.: Машиностроение, 1969. — 385 с.
3. Евтушенко В.Ф. Исследования совместного подобию объектов управления внешних воздействий / В.Ф. Евтушенко, К.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. Сборник научных статей. Новокузнецк, 2014. — С. 196-202.
4. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования/ В.Я. Ротач. — М.: Энергия, 1973. — 439 с.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

| | | | |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------|
| Агеев Д.А. | 437 | Зимин В.В. | 221, 228, 475, 493 |
| Алтемерова О.А. | 447 | Зиновьев В.В. | 173 |
| Банникова А.В. | 110 | Ивушкин А.А. | 7, 121 |
| Баранов П.П. | 35 | Ивушкин К.А. | 90, 121, 159, 191 |
| Белокопытов П.Н. | 179 | Инатович Ю.В. | 96 |
| Белый А.М. | 346 | Истомин А.С. | 75, 85, 201 |
| Бельская Е.Н. | 389 | Исхаков Р.Р. | 257 |
| Богачев И.В. | 176 | Кадыков В.Н. | 240 |
| Бондарь Н.Ф. | 307 | Калашников С.Н. | 344 |
| Борковская В.Г. | 451 | Калиногорский Н.А. | 366, 407, 425 |
| Бояринова А.С. | 45 | Карпушин П.А. | 69 |
| Бурков В.Н. | 31 | Карташов В.Я. | 398, 447 |
| Буркова Е.В. | 159, 501 | Кипервассер М.В. | 340 |
| Буркова И.В. | 32, 451 | Киселев Е.В. | 323, 327 |
| Бурлаченко А.В. | 501 | Киселева Т.В. | 179, 285, 475 |
| Бурыкин А.А. | 75, 313 | Климантова И.П. | 413 |
| Бутузов Д.В. | 363 | Койнов Р.С. | 374, 454 |
| Бушуев С.Д. | 31 | Коплярова Н.В. | 379 |
| Бякова М.В. | 41 | Кориков А.М. | 265 |
| Валишевская Л.Г. | 244 | Корнеева А.А. | 115 |
| Венгер К.Г. | 15, 289 | Корнет М.Е. | 110 |
| Веревкин В.И. | 276 | Кочкин А.А. | 344 |
| Веревкин С.В. | 276 | Кошкин К.К. | 31 |
| Веригин Н.В. | 295 | Краснобаев А.В. | 8, 75 |
| Власенко А.Е. | 410, 413 | Красноперов С.Ю. | 344 |
| Галлямова О.Р. | 354 | Кубарев В.А. | 295, 354 |
| Герасимук А.В. | 340 | Куделин С.П. | 96 |
| Головина Д.А. | 346 | Кузьмин М.В. | 393 |
| Голодков А.Д. | 32 | Кулаков С.М. | 35, 195, 221, 228, 234, 298, 454 |
| Грачев В.В. | 90, 191 | Курышкин Н.П. | 265 |
| Гребнева Н.В. | 323, 327 | Лавриненко А.В. | 69 |
| Гудков М.Ю. | 298, 302 | Лавров В.В. | 41, 75, 85, 201, 313, 323, 327 |
| Гулевич Т.М. | 318, 357 | Леонтьев И.А. | 15, 289 |
| Гурин И.А. | 41, 75, 85, 313 | Линков А.А. | 191, 212 |
| Гусев С.С. | 152 | Лисиенко В.Г. | 207 |
| Демченко Д.Г. | 212 | Логунова О.С. | 80 |
| Добрынин А.С. | 374, 454 | Лысенко Н.Л. | 498 |
| Домрачев А.Н. | 465 | Любимов О.В. | 176 |
| Дроздецкий К.Ю. | 221 | Ляпунцова Е.В. | 452, 453 |
| Дубровин А.А. | 134 | Ляховец М.В. | 289, 318 |
| Дьяков П.К. | 184 | Макаров Г.В. | 159, 191, 212, 318, 498 |
| Евтушенко В.Ф. | 159, 498, 501 | Мальцева Т.В. | 393 |
| Ермаков И.А. | 295 | Маслова Е.В. | 179 |
| Ермакова Л.А. | 349 | Медведев А.В. | 22, 379, 393 |
| Жернаков А.О. | 357 | Мешеряков Я.Е. | 265 |
| Жилина Н.М. | 134, 417, 422 | Миков А.Ю. | 80 |
| Зайцев А.В. | 212 | Милованов М.М. | 273, 331, 346, 461 |
| Зацаринный А.А. | 58 | Миронова Е.В. | 370 |
| Зимин А.В. | 228 | | |

| | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Миронова К.А..... | 370 | Статников И.Н. | 402 |
| Михайлов В.Г. | 285 | Стефанкин А.Е. | 132, 215, 473, 480 |
| Михов Е.Д. | 106, 389 | Судаков И.В. | 198, 261 |
| Молдованова Е.А. | 69 | Сыркин И.С. | 482 |
| Морозов П.А. | 357 | Тараборина Е.Н. | 307 |
| Мусатова А.И. | 35, 240, 244 | Тасейко О.В. | 389 |
| Мышляев Л.П. | 7, 121, 149, 159, 191, 289, 437 | Титаев А.А. | 207 |
| Наумовская А.А. | 49 | Токарев С.В. | 128 |
| Николаев П.И. | 173 | Торопов Д.В. | 195 |
| Новокрецин Б.Г. | 334 | Трофимов В.Б. | 144 |
| Новосельцева М.А. | 441 | Турчин Д.Е. | 252 |
| Носков В.Ю. | 207 | Тутов И.А. | 45, 49 |
| Одинокоев А.В. | 357 | Уандыков Б.К. | 34 |
| Онорин О.П. | 8, 85, 201 | Файрушин Ш.А. | 15, 289 |
| Островляничик В.Ю. | 247 | Федосенков Б.А. | 128, 198, 257, 261, 469 |
| Павлов А.В. | 8 | Федосенков Д.Б. | 128, 198, 257, 261, 469 |
| Павлова Л.Д. | 166 | Федотов А.А. | 318, 357 |
| Палюлис Н.С. | 32 | Феоктистов А.В. | 318 |
| Панферов В.И. | 384 | Фирсов Г.И. | 139, 402 |
| Панферов С.В. | 384 | Фрянов В.Н. | 166 |
| Пивоварова А.Р. | 398 | Хачатрян Л.Р. | 132, 215, 473, 480 |
| Полежаев П.Н. | 53 | Циряпкина А.В. | 90, 121, 191, 289 |
| Попов Ю.Б. | 69 | Циряпкина И.В. | 149 |
| Попова А.И. | 69 | Цымбал В.П. | 432 |
| Попова К.Ю. | 69 | Часовников К.В. | 422 |
| Поползин И.Ю. | 247 | Чекрыжова Л.В. | 270 |
| Приступа Ю.Д. | 166 | Челнокова В.Д. | 96 |
| <u>Пугачёв Е.В.</u> | 340 | Черемискина Н.А. | 323, 327 |
| Пужанова Е.О. | 33 | Чернявский С.В. | 217, 437 |
| Пургина М.В. | 64, 234 | Чеченин Г.И. | 422 |
| Раецкий А.Д. | 349 | Чжан Е.А. | 101 |
| Ренге Л.В. | 410 | Шабанов А.П. | 58 |
| Риб С.В. | 465 | Шаталов Н.А. | 295 |
| Рожкова А.С. | 337 | Шилов В.А. | 96 |
| Рыболовлев В.Ю. | 8, 75 | Шипунов М.В. | 90, 191 |
| Сазыкин Г.П. | 179 | Шихалиев М.С. | 453 |
| Самойленко С.С. | 398 | Шихалиев Р.С. | 452 |
| Самородова Л.Л. | 176 | Шишкина С.В. | 166 |
| Сахопотинов Г.А. | 487 | Шлянин С.А. | 349 |
| Сеченов П.А. | 432 | Щипанов К.А. | 313 |
| Симилова А.А. | 128, 198, 261, 469 | Яковлев А.Н. | 280 |
| Спирин Н.А. | 8, 41, 75, 85, 201 | Якунина Ю.С. | 176 |
| Стародубов А.Н. | 173 | Ярчук В.Ф. | 207 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ | 5 |
| Задачи разработки систем автоматизации управления при импортозамещении | 7 |
| Мышляев Л.П., Ивушкин А.А. | |
| Программное обеспечение для решения технологических задач выбора состава железорудного сырья в аглодоменном производстве | 8 |
| Спирин Н.А., Павлов А.В., Онорин О.П., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В. | |
| Состояние и перспективы развития автоматизированных промышленных комплексов ЗАО «Стройсервис» | 15 |
| Файрушин Ш.А., Леонтьев И.А., Венгер К.Г. | |
| О теории непараметрических систем..... | 22 |
| Медведев А.В. | |
| СЕКЦИЯ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ..... | 29 |
| Механизмы согласованного планирования распределенными проектами | 31 |
| Бурков В.Н., Бушуев С.Д., Кошкин К.К. | |
| Метод сетевого программирования в управлении проектами | 32 |
| Буркова И.В., Голодков А.Д., Палюлис Н.С. | |
| Механизмы конвергенции повышения уровня зрелости организации в области управления проектами | 33 |
| Пужанова Е.О. | |
| Задачи оперативного управления проектами | 34 |
| Уандыков Б.К. | |
| Многоструктурное прогнозирование сроков окупаемости инвестиционного проекта | 35 |
| Кулаков С.М., Мусатова А.И., Баранов П.П. | |
| Решение задачи оптимизации в среде программирования Microsoft Visual STUDIO (C#) | 41 |
| Гурин И.А., Спирин Н.А., Лавров В.В., Бякова М.В. | |
| Оптимизация человеко-машинного интерфейса для объектов нефтегазовой промышленности | 45 |
| Бояринова А.С., Тутов И.А. | |
| К развитию человеко-машинного интерфейса SCADA-СИСТЕМ | 49 |
| Наумовская А.А., Тутов И.А. | |
| Разработка системы управления программными сервисами в облачных системах с использованием технологии контейнеризации | 53 |
| Полежаев П.Н. | |

| | |
|---|------------|
| Об использовании единой информационной среды для предотвращения угроз национальной безопасности | 58 |
| Зацаринный А.А., Шабанов А.П. | |
| Структурная неопределенность в системах управления деятельностью ИТ-провайдера | 64 |
| Пургина М.В. | |
| Мобильный комплекс мониторинга и прогноза метеорологической обстановки в пограничном слое атмосферы на базе мультикоптера и автоматизированной метеорологической системы | 69 |
| Карпушин П.А., Лавриненко А.В., Молдованова Е.А., Попова К.Ю., Попова А.И., Попов Ю.Б. | |
| Технология и программные средства разработки системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «ММК» | 75 |
| Лавров В.В., Спириг Н.А., Бурыкин А.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В., Истомин А.С., Гуриг И.А. | |
| Методика формирования информативных признаков для распознавания изображений поверхностных дефектов холоднокатаного проката | 80 |
| Миков А.Ю., Логунова О.С. | |
| Особенности переходных процессов доменной печи | 85 |
| Онорин О.П., Спириг Н.А., Лавров В.В., Истомин А.С., Гуриг И.А. | |
| Особенности разработки информационного обеспечения систем автоматизации углеобогагительных фабрик нового поколения | 90 |
| Грачев В.В., Шипунов М.В., Ивушкин К.А., Циряпкина А.В. | |
| Применение элементов искусственного интеллекта в технологии обработки металла давлением..... | 96 |
| Шилов В.А., Куделин С.П., Инатович Ю.В., Челнокова В.Д. | |
| Об анализе данных при непараметрической идентификации многомерных процессов | 101 |
| Чжан Е.А. | |
| О настройке непараметрических моделей безынерционных систем..... | 106 |
| Михов Е.Д. | |
| О Непараметрическом дуальном двухконтурном управлении динамическими процессами | 110 |
| Банникова А.В., Корнет М.Е. | |
| О непараметрическом дуальном управлении последовательностью технологических объектов | 115 |
| Корнеева А.А. | |
| Исследование эффективности систем управления объектами с рециклом | 121 |
| Циряпкина А.В., Ивушкин А.А., Мышляев Л.П., Ивушкин К.А. | |

| | |
|--|------------|
| Оценка динамического состояния смесительного агрегата..... | 128 |
| Токарев С.В., Симилова А.А., Федосенков Д.Б., Федосенков Б.А. | |
| Основные решения по промышленной автоматизации мембранных процессов | 132 |
| Стефанкин А.Е., Хачатрян Л.Р. | |
| Многокритериальный выбор информационных технологий в здравоохранении (на примере г. Абакана)..... | 134 |
| Жилина Н.М., Дубровин А.А. | |
| Оценивание погрешностей идентификации параметров механических колебательных систем по переходным процессам методом аналитического сигнала | 139 |
| Фирсов Г.И. | |
| О разработке многоструктурного распознавателя растровых изображений | 144 |
| Трофимов В.Б. | |
| Разработка процедуры идентификации структур материалов на основе формирования фракталов..... | 149 |
| Мышляев Л.П., Циряпкина И.В. | |
| Идентификация динамического объекта управления с априорными ограничениями | 152 |
| Гусев С.С. | |
| Исследование систем управления с применением физических моделей | 159 |
| Евтушенко В.Ф., Мышляев Л.П., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Буркова Е.В. | |
| Обоснование структуры системы управления социальной безопасностью погрузочно-транспортных предприятий угольного холдинга..... | 166 |
| Шишкина С.В., Приступа Ю.Д., Фрянов В.Н., Павлова Л.Д. | |
| Эвристический подход к решению задачи многовариантного выбора структуры автоматизированных производственных систем | 173 |
| Николаев П.И., Зиновьев В.В., Стародубов А.Н. | |
| К вопросу об областях применения современных SCADA-систем в России..... | 176 |
| Богачев И.В., Любимов О.В., Самородова Л.Л., Якунина Ю.С. | |
| Об организации проектирования промышленных предприятий | 179 |
| Белокопытов П.Н., Сазыкин Г.П. | |
| О способах оценки и управления информационными рисками..... | 179 |
| Киселева Т.В., Маслова Е.В. | |
| Свойства корпоративной организации как объекта управления | 184 |
| Дьяков П.К. | |

| | |
|--|------------|
| СЕКЦИЯ 2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ..... | 189 |
| Создание системы автоматизации управления углеобогащительной фабрикой «Калтанская-Энергетическая»..... | 191 |
| Грачев В.В., Шипунов М.В., Ивушкин К.А., Мышляев Л.П., Циряпкина А.В., Линков А.А., Макаров Г.В. | |
| Согласованное решение задач идентификации, оптимизации и регулирования технологического процесса, характеризующегося рециклами и взаимовлиянием управлений..... | 195 |
| Кулаков С.М., Торопов Д.В. | |
| Фильтрация материалопотоковых сигналов смесительной системой при автоматизации смесеприготовительного процесса | 198 |
| Симилова А.А., Федосенков Д.Б., Судаков И.В., Федосенков Б.А. | |
| Программное обеспечение системы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима | 201 |
| Спирин Н.А., Истомина А.С., Онорин О.П., Лавров В.В. | |
| Совершенствование алгоритма управления давлением в рабочем пространстве нагревательной печи, оснащенной импульсными горелками | 207 |
| Лисиенко В.Г., Носков В.Ю., Титаев А.А., Ярчук В.Ф. | |
| Настройка систем регулирования типовых агрегатов обогащительных фабрик с использованием методов подобию | 212 |
| Макаров Г.В., Линков А.А., Демченко Д.Г., Зайцев А.В. | |
| Реализация алгоритмов управления мембранными процессами с применением ПЛК ОВЕН..... | 215 |
| Хачатрян Л.Р., Стефанкин А.Е. | |
| Управление конвертерной плавкой стали..... | 217 |
| Чернявский С.В. | |
| Формирование оптимального портфеля сервисов ИТ-провайдера..... | 221 |
| Зимин В.В., Кулаков С.М., Дроздецкий К.Ю. | |
| Применение сетевого программирования для распределения ресурсов на оптимизацию ИТ-процессов | 228 |
| Зимин В.В., Кулаков С.М., Зимин А.В. | |
| Конкретизация задачи оптимального распределения ресурсов на совершенствование ИТ-процессов эксплуатации сервисов..... | 234 |
| Кулаков С.М., Пургина М.В. | |
| Разработка нормативной модели производительности отделения меднения проволоки..... | 240 |
| Мусатова А.И., Кадыков В.Н. | |
| Механизм распределения чистой прибыли на металлургическом предприятии..... | 244 |
| Валишевская Л.Г., Мусатова А.И. | |

| | |
|---|------------|
| Измерение параметров асинхронного двигателя в цифровых информационно-управляющих системах автоматизированного электропривода | 247 |
| Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю. | |
| Моделирование геометрических связей при автоматической сборке с помощью метода пространства конфигураций..... | 252 |
| Турчин Д.Е. | |
| Процедура формирования визуально-графического отображения материалопотоковых сигналов при мониторинговании смесеприготовительных процессов | 257 |
| Исхаков Р.Р., Федосенков Д.Б., Федосенков Б.А. | |
| Автоматизированное управление технологическими процессами в производстве цементных композиций..... | 261 |
| Судаков И.В., Симилова А.А., Федосенков Д.Б., Федосенков Б.А. | |
| Аппаратно-программный комплекс для мониторинга рабочих циклов шагающих экскаваторов на угольных разрезах Кузбасса..... | 265 |
| Мещеряков Я.Е., Корилов А.М., Курьшкин Н.П. | |
| Анализ методов параметризации конструкторских чертежей | 270 |
| Чекрыжова Л.В. | |
| Автоматизация процессов резервного копирования баз данных под управлением Microsoft SQL SERVER для управления социальной защиты Новокузнецка | 273 |
| Милованов М.М. | |
| Разработка технического инструментария рационального подбора заготовок в картах..... | 276 |
| Веревкин В.И., Веревкин С.В. | |
| Выбор программных средств для реализации прогноза объемов продаж автомобильных запчастей в режиме реального времени | 280 |
| Яковлев А.Н. | |
| Управление производственной деятельностью предприятия с учетом эколого-экономических ограничений | 285 |
| Михайлов В.Г., Киселева Т.В. | |
| Регулирование распределенных объектов на примере дозирования товарной продукции ОФ «Матюшинская» | 289 |
| Леонтьев И.А., Венгер К.Г., Файрушин Ш.А., Циряпкина А.В., Мышляев Л.П., Ляховец М.В. | |
| Унифицированная система автоматического управления электроприводом конвейера | 295 |
| Кубарев В.А., Ермаков И.А., Веригин Н.В., Шаталов Н.А. | |

| | |
|--|------------|
| К разработке системы управления инцидентами в АСУТП теплоэлектростанции | 298 |
| Гудков М.Ю., Кулаков С.М. | |
| Способ косвенного контроля уровня пылеугольного топлива в системах пылеприготовления теплоэлектростанций | 302 |
| Гудков М.Ю. | |
| Оптимизация многомерных уставок в системе управления технологическими объектами (на примере сталеплавильного комплекса «кислородный конвертер – агрегат ковш-печь») | 307 |
| Бондарь Н.Ф., Тараборина Е.Н. | |
| СЕКЦИЯ 3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ | 311 |
| Современные интерактивные web-сервисы в образовательной практике обучения студентов | 313 |
| Лавров В.В., Бурыкин А.А., Щипанов К.А., Гурин И.А. | |
| Современные распределенные автоматизированные обучающие комплексы | 318 |
| Гулевич Т.М., Феоктистов А.В., Ляховец М.В., Федотов А.А., Макаров Г.В. | |
| Компьютерное моделирование водо-воздушных теплообменников в пакете ANSYS при проведении лабораторного практикума | 323 |
| Гребнева Н.В., Черемискина Н.А., Лавров В.В., Киселев Е.В. | |
| Компьютерное моделирование процессов теплообмена в пакете ANSYS при проведении лабораторного практикума «Испытания пластинчатого теплообменника» | 327 |
| Черемискина Н.А., Гребнева Н.В., Лавров В.В., Киселев Е.В. | |
| Разработка расширения системы дистанционного обучения для управления образовательным процессом в рамках LMS MOODLE | 331 |
| Милованов М.М. | |
| Технологии коллективной работы в структуре вуза | 334 |
| Новокрещин Б.Г. | |
| Разработка методики выгрузки данных из системы 1С: Предприятие 8.3 для создания личного кабинета студента | 337 |
| Рожкова А.С. | |
| Исследование переходного процесса в цепи тока приводного электродвигателя при помпаже | 340 |
| Пугачёв Е.В., Кипервассер М.В., Герасимук А.В. | |
| Реализация пользовательского интерфейса дополненной реальности | 344 |
| Кочкин А.А., Калашников С.Н., Красноперов С.Ю. | |
| Автоматизированная система уникализации текстовой информации | 346 |
| Белый А.М., Головина Д.А., Милованов М.М. | |

| | |
|--|------------|
| Разработка информационной системы «PORTFOLIO SIBSIU»..... | 349 |
| Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А. | |
| Лабораторный стенд на основе программируемого контроллера фирмы FASTWEL..... | 354 |
| Кубарев В.А., Галлямова О.Р. | |
| Информационная безопасность в распределенных автоматизированных обучающих комплексах | 357 |
| Морозов П.А., Гулевич Т.М., Федотов А.А., Жернаков А.О., Одинокоев А.В. | |
| Учебный стенд с тепловым объектом пассивного охлаждения | 363 |
| Бутузов Д.В. | |
| Управление образовательным процессом на базе персональных веб-сайтов преподавателя и обучающихся | 366 |
| Калиногорский Н.А. | |
| Механизм комплексного стимулирования деятельности студентов учреждения среднего профессионального образования..... | 370 |
| Миронова Е.В., Миронова К.А. | |
| Ассиметричный протокол для интеграции подсистем корпоративных Web-порталов..... | 374 |
| Добрынин А.С., Койнов Р.С. | |
| СЕКЦИЯ 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ | 377 |
| О непараметрическом управлении процессами класса Винера..... | 379 |
| Коплярова Н.В., Медведев А.В. | |
| К решению задачи моделирования отопительных приборов и систем..... | 384 |
| Панферов В.И., Панферов С.В. | |
| Непараметрические модели экологических процессов | 389 |
| Бельская Е.Н., Михов Е.Д., Тасейко О.В. | |
| КТ-модель процесса..... | 393 |
| Кузьмин М.В., Медведев А.В., Мальцева Т.В. | |
| Разработка алгоритма структурно-параметрической адаптации моделей динамических объектов | 398 |
| Карташов В.Я., Пивоварова А.Р., Самойленко С.С. | |
| Методы планируемого вычислительного эксперимента в задачах верификации моделей динамических систем..... | 402 |
| Статников И.Н., Фирсов Г.И. | |
| Повышение эффективности исследований за счёт планирования экспериментов по схеме «опыт-конкретный коэффициент математической модели»..... | 407 |
| Калиногорский Н.А. | |

| | |
|---|------------|
| Оптимизация эффективности работы отделений реанимации и интенсивной терапии новорожденных на основе модели формирования жизнеспособности ребенка | 410 |
| Власенко А.Е., Ренге Л.В. | |
| Классификация лечебно-профилактических учреждений г. Новокузнецка по степени проблемности их основных показателей..... | 413 |
| Власенко А.Е., Климантова И.П. | |
| Обобщенные показатели здоровья работающих г. Новокузнецка..... | 417 |
| Жилина Н.М. | |
| Динамический анализ заболеваемости трудящихся крупнейших металлургических предприятий Сибири | 422 |
| Часовников К.В., Жилина Н.М., Чеченин Г.И. | |
| Управление качеством жизни населения в условиях неопределённости | 425 |
| Калиногорский Н.А. 425 | |
| Алгоритм имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном агрегате струйно-эмульсионного металлургического реактора | 432 |
| Сеченов П.А., Цымбал В.П. 432 | |
| Совместная идентификация и управление кислородно-конвертерной плавкой стали | 437 |
| Агеев Д.А., Мышляев Л.П., Чернявский С.В. | |
| Особенности структурно-параметрической идентификации стохастических объектов на основе теории непрерывных дробей | 441 |
| Новосельцева М.А. | |
| Исследование процесса насыщения исполнительного механизма в цифровых системах управления | 447 |
| Алтемерова О.А., Карташов В.Я. | |
| Качественные оценки риска | 451 |
| Борковская В.Г., Буркова И.В. | |
| Оптимизация расписаний в вычислительных сетях | 452 |
| Ляпунцова Е.В., Шихалиев Р.С. | |
| Задача равномерного распределения требований в узлах вычислительных сетей | 453 |
| Ляпунцова Е.В., Шихалиев М.С. | |
| К оценке вычислительной сложности алгоритма сдвига работ (TSIA) в задаче календарного планирования..... | 454 |
| Добрынин А.С., Кулаков С.М., Койнов Р.С. | |
| Исследование эффективности торгового алгоритма на основе выхода за ценовой экстремум | 461 |
| Милованов М.М. | |

| | |
|---|------------|
| Разработка алгоритма оценивания напряжённно-деформированного состояния неоднородного угольного целика с использованием двух- и трёхмерной реализации метода конечных элементов | 465 |
| Риб С.В., Домрачев А.Н. | |
| Об учёте неравномерности материалопотоков дозирования в автоматизированной системе смесеприготовления..... | 469 |
| Федосенков Д.Б., Симилова А.А., Федосенков Б.А. | |
| Аспекты автоматизации научных исследований мембранных процессов | 473 |
| Стефанкин А.Е., Хачатрян Л.Р. | |
| Задача оптимального распределения ресурсов на тестирование релизов ИТ-сервиса | 475 |
| Зимин В.В., Киселева Т.В. | |
| Аппаратный комплекс для исследования процессов ультрафильтрации на базе современных ПЛК..... | 480 |
| Хачатрян Л.Р., Стефанкин А.Е. | |
| Автоматическая генерация алгоритмов при помощи эволюционных вычислений..... | 482 |
| Сыркин И.С. | |
| Разработка и проверка алгоритма группового управления роботами с помощью имитационной модели | 487 |
| Сахопотинов Г.А. | |
| Формализации и процедуры решения задачи календарного планирования внедрения ИТ-сервисов | 493 |
| Зимин В.В. | |
| Исследования подобия систем автоматического регулирования с типовыми моделями объектов..... | 498 |
| Макаров Г.В., Евтушенко В.Ф., Лысенко Н.Л. | |
| Оценивание совместного подобия объектов и воздействий в подобных системах управления | 501 |
| Буркова Е.В., Евтушенко В.Ф., Бурлаченко А.В. | |
| Авторский указатель..... | 505 |

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ
AS' 2015**

Труды X Всероссийской научно-практической конференции

(с международным участием)

17–19 декабря 2015 г.

Под общей редакцией
д.т.н., проф. С.М. Кулаков,
д.т.н., проф. Л.П. Мышляев

Материалы докладов изданы в авторской редакции.

Подписано в печать 07.12.2015 г.

Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 30,68. Уч.-изд. л. 32,73. Тираж 500 экз. Заказ № 769.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ