

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Кузбасский научный центр Сибирского отделения
Академии инженерных наук имени А.М. Прохорова
Кемеровское региональное отделение САН ВШ
АО «Евраз - Объединённый Западно-Сибирский
металлургический комбинат»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ
AS' 2017**

**ТРУДЫ XI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
*(с международным участием)***

**Новокузнецк
2017**

УДК 658.011.56
С 409

С 409 Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : Труды XI Всероссийской научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. - 475 с., ил.

ISBN 978-5-7806-0502-7

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.

Организации, поддержавшие конференцию:

*ОК «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк),
ЗАО «Стройсервис» (г. Кемерово),
ООО «Центр сварки и контроля» (г. Кемерово),
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк),
ООО «Синерго СОФТ СИСТЕМС» (г. Новокузнецк).*

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-07-20581.

ISBN 978-5-7806-0502-7

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Ивушкин А.А. – д.т.н., профессор, генеральный директор ООО «Объединённая компания Сибшахтострой», председатель.
2. Бурков В.Н. – д.т.н., профессор, зав. лабораторией ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН (г. Москва).
3. Кулаков С.М. – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем СибГИУ.
4. Мышляев Л.П. – д.т.н., профессор, профессор СибГИУ, директор Научно-исследовательского центра систем управления (НИЦСУ).
5. Новиков Д.А. – член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, директор ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, (г. Москва).
6. Уандыков Б.К. – к.т.н., Министерство транспорта и коммуникаций Республики Казахстан (г. Астана).
7. Фокин С.Г. – к.т.н., ст. н. с. Объединённого института проблем информатики НАН РБ (г. Минск).
8. Спирин Н.А. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой теплофизики и информатики в металлургии УрФУ им.Первого президента Р.Ф. Ельцина Б.Н., (г. Екатеринбург).
9. Хомченко В.Г. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации и робототехники ОмГТУ (г. Омск).
10. 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, профессор кафедры автоматизации и информационных систем СибГИУ – зам. председателя, тел.: (3843) 74-88-06.
3. Мышляев Леонид Павлович – д.т.н., профессор, профессор СибГИУ, директор Научно-исследовательского центра систем управления – зам. председателя, тел.: (3843) 74-88-06.
4. Ляховец Михаил Васильевич – к.т.н., доцент СибГИУ, зав. кафедрой АИС, ученый секретарь AS-2017, тел.: (3843)74-88-06.
5. Евтушенко Виктор Фёдорович - д.т.н., профессор, профессор-консультант СибГИУ.
6. Киселева Т.В. – д.т.н., профессор, профессор кафедры прикладной информатики и программирования СибГИУ
7. Татаринев А.Е. – начальник регионального центра эксплуатации АСУ ТП «Сибирь» ООО «Евразтехника».
8. Венгер Константин Геннадьевич – к.т.н., директор по капитальному строительству и общим вопросам ЗАО «Стройсервис».
9. Островляничик Виктор Юрьевич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизированного электропривода и промэлектроники СибГИУ.
10. Чеченин Геннадий Ионович – д.м.н., профессор, зав. кафедрой медицинской кибернетики и информатики ГБОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей».
11. Саламатин Александр Сергеевич – ИТ-менеджер конференции.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

О РАЗВИТИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Мышляев Л.П.¹, Венгер К.Г.², Ивушкин К.А.³, Макаров В.Н.²

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

²ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия

³ООО ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

Повышение показателей эффективности промышленных и социальных систем невозможно без качественно новых подходов и методов автоматизации управления. К настоящему времени достигнут достаточно высокий уровень технических средств автоматизации и базового (сервисного) программного обеспечения. Развитие же новых направлений автоматизации управления и приемлемых для практического использования методов и алгоритмов не отвечали предъявленным требованиям. Можно выделить несколько причин такого положения и путей совершенствования систем автоматизации управления.

Выявление проблемы и выделение полного объекта изучения и оптимизации – первые и важнейшие этапы решения проблемы в условиях неопределенности. Наибольшую трудность представляет правильное выделение (формирование) полного объекта изучения и оптимизации. На этом этапе допускается наибольшее число ошибок, что, конечно, ведет к ошибочным, в том числе качественно, решениям. Общими рекомендациями при выделении полного объекта могут служить принципы системного анализа, сформулированные в [1], где указывается, что полный объект не должен охватываться сильными внешними обратными связями. Все обратные связи должны быть включены в объект изучения.

Примерами некорректного выделения полного объекта могут служить:

- 1) идентификация объектов в системах управления по данным нормальной эксплуатации [2];
- 2) прогнозировании состояний и выходов объектов управления при использовании результатов прогноза для выработки управляющих воздействий [3].

С этих позиций необходимы пересмотр подходов по созданию промышленных комплексов и обучение (подготовку) специалистов инженерного профиля. Традиционно при создании промышленных, а зачастую и социальных, комплексов сначала разрабатываются технологические схемы (процессы, агрегаты), а только затем управляющие подсистемы. Тем самым нарушаются принципы системного анализа и, в результате, не достигаются оптимальные показатели работы комплекса. Достижение заданных динамических свойств комплекса возлагается на управляющую часть системы. Зачастую это либо невозможно из-за структуры и параметров объекта управления, либо значительно усложняем управляющую подсистему, особенно ее интеллектуальную составляющую.

Более рационален путь совместного синтеза объекта управления и управляющей подсистемы. Для этого требуется переосмысление подходов и методов проектирования промышленных комплексов, разработка соответствующих методик и нормативных документов, также требуется внесение изменений в программы подготовки и повышения квалификации специалистов, где упор делался бы на автоматизированные производственные (социальные) комплексы, а не отдельно на производственные процессы (технологии) и подсистемы автоматизации управления.

Одним из перспективных вариантов создания эффективных промышленных комплексов может лежать на пути увеличения структурного разнообразия объектов управления и управляющих систем.

Развитая теория *систем управления с переменной структурой* полагает изменения структуры только управляющей системы в зависимости от состояния объекта управления и/или внешних условий [4, 5]. Теоретические проработки с целенаправленным изменением структуры объекта управления находятся только на начальной стадии. В практике же управ-

ления такие системы встречаются достаточно часто. Здесь можно привести примеры: прокатное производство металлургического предприятия, когда сначала формируется маршрут прокатки металла, то есть формируется структура объекта управления, а затем реализуются технологические режимы прокатки; углеобогащение, когда в зависимости от свойств угля сначала определяются технологические цепочки и соответствующие технологические агрегаты, а затем на данной структуре осуществляются процессы обогащения углей с возможной оперативной сменой элементов исходной структуры. К таким системам можно отнести и системы проведения конкурсных отборов (тендеров) на выполнение исследовательских, опытно-конструкторских, проектных и строительно-монтажных работ по созданию промышленных и социальных комплексов. Из заявленных участников отбираются исполнители (формируется структура объекта), число которых в процессе выполнения проекта может изменяться.

Обобщенную схему системы управления объектом с целенаправленно изменяемой структурой можно представить в виде рисунка 1 [6]. Возможны три типа реализации этой схемы.

1. С введением дополнительных структур объекта для расширения области допустимых состояний и выбором последовательности структур для обеспечения заданных требований к эффективности управления.

2. С текущим оцениванием и анализом показателей эффективности управления, выбором необходимой структуры объекта управления и обеспечением безударных режимов управления.

3. С выделением типопредставительных ситуаций функционирования системы управления по каждой структуре системы, имитационным пересчетным моделированием, оцениванием показателей эффективности управления, выбором необходимой структуры объекта управления и обеспечением безударных режимов управления.

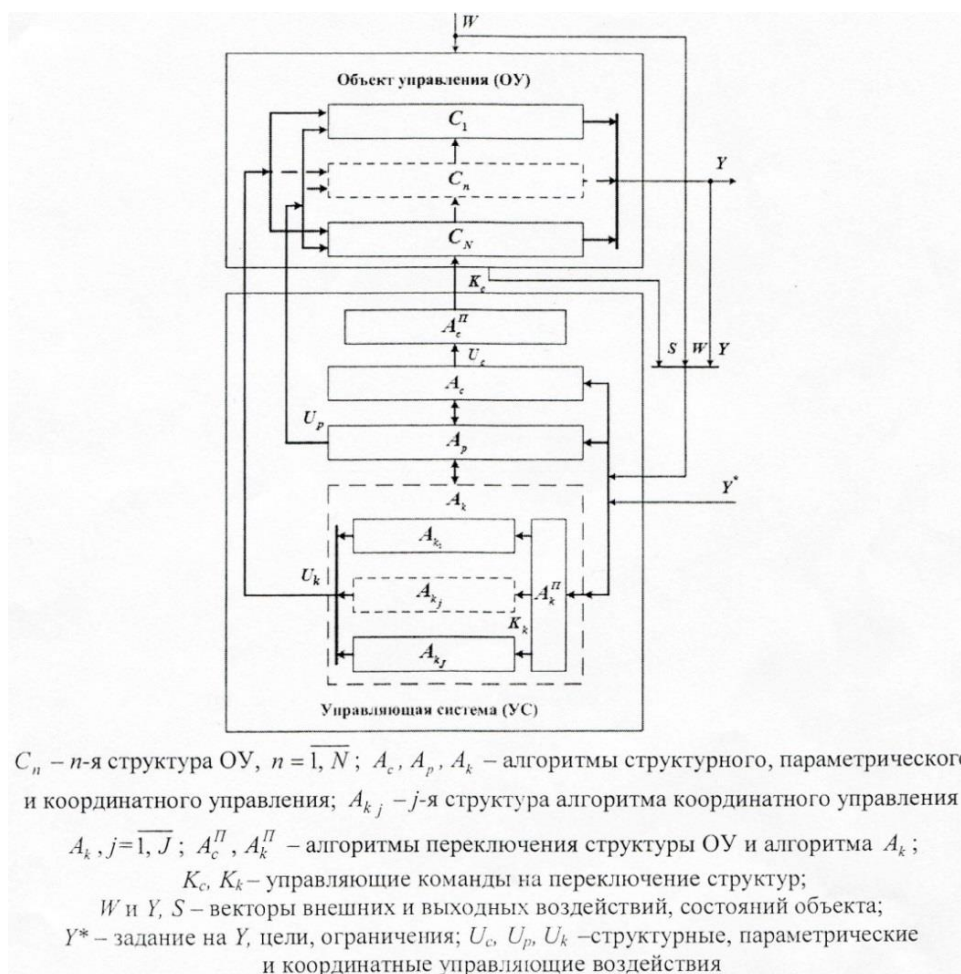


Рисунок 1 – Обобщенная схема системы управления объектом с целенаправленно изменяемой структурой

При такой реализации схем необходимо уже на стадии проектирования предусмотреть возможность изменения структуры объекта.

Наиболее универсальным и эффективным для практики является третий вариант реализации схемы рисунка 1 с выделением типопредставительных ситуаций (ТПС) и имитационным моделированием всех структур системы управления. Алгоритм реализации такой схемы приведен на рисунке 2 [6].

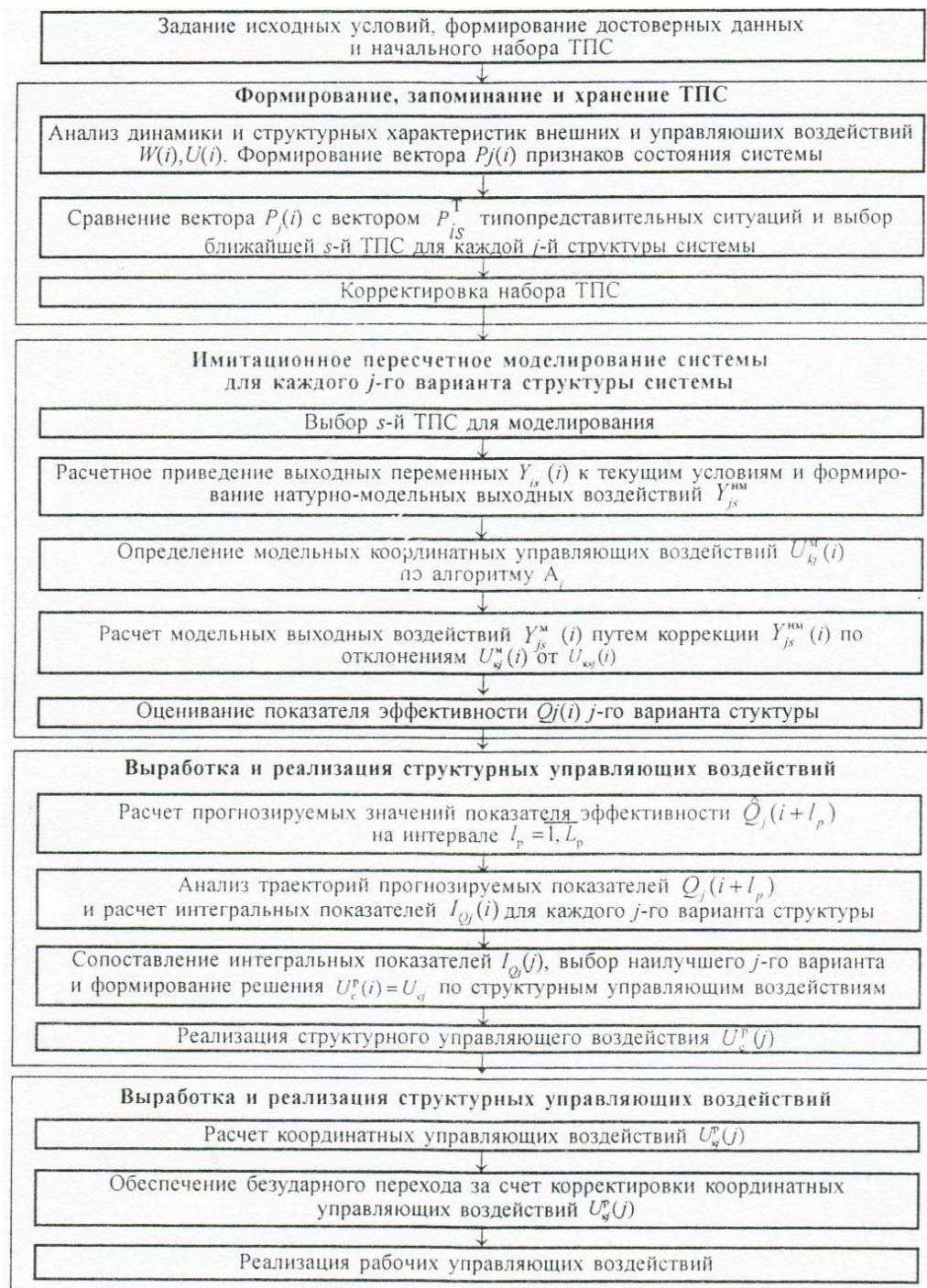


Рисунок 2 – Алгоритм управления объектом с целенаправленно изменяемой структурой

Отсутствие адекватных математических моделей объектов и действующих на них возмущений в реальных условиях заставляет прибегать к натурно-математическому моделированию с использованием реализаций натуральных данных и специальных пересчетных моделей в «малом» [7], либо малоразмерных физических моделей, функционирующих в «ускоренном» времени с соблюдением условий подобия модельных и натуральных систем [8].

Пример имитационного натурно-математического моделирования служит схема рисунка 3, на которой в дополнении к обозначениям рисунка 1 добавлено: Z – затраты на производство; Q – показатели эффективности; индексы «М» - модельный; «НМ» - натурно-модельный.

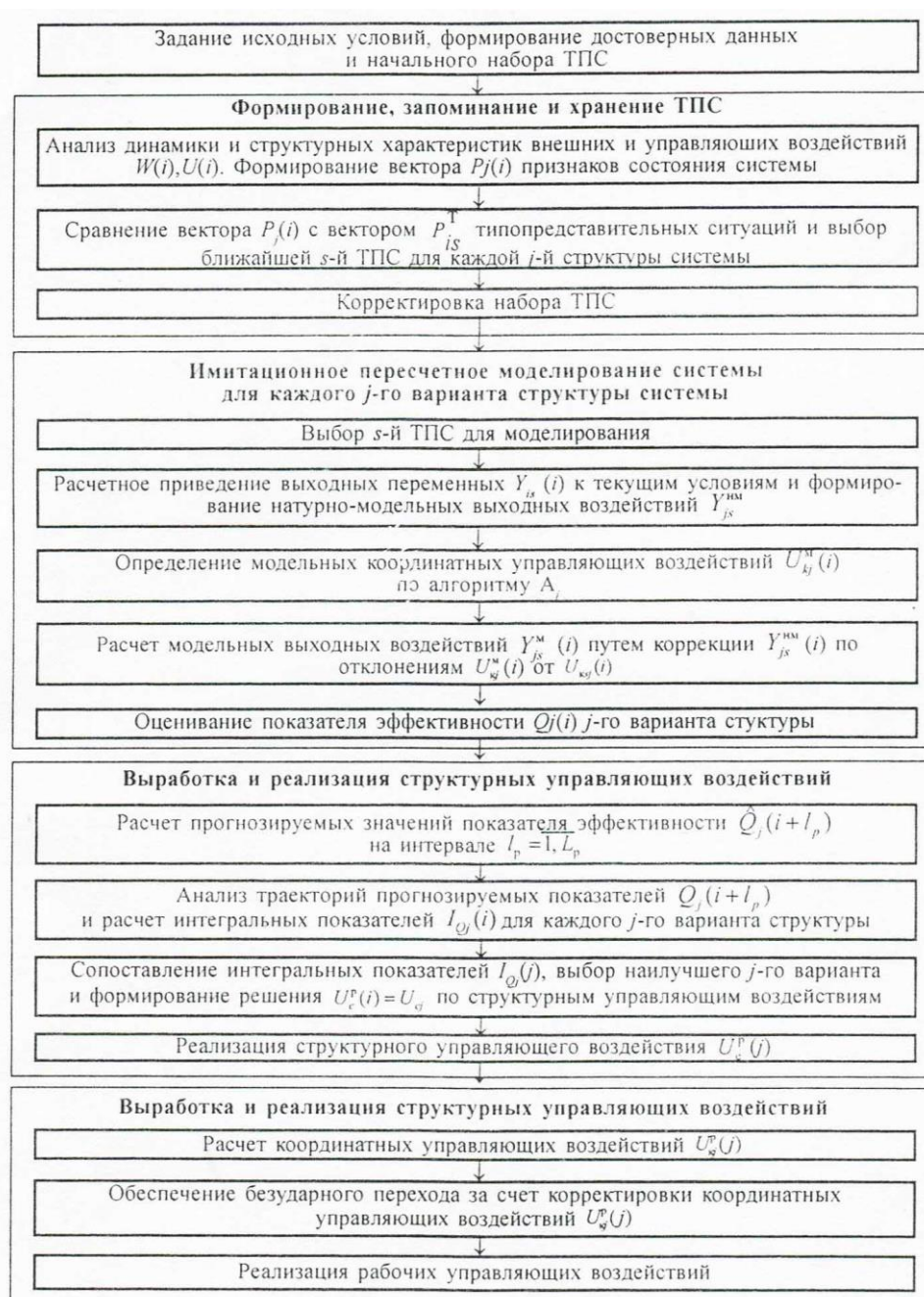


Рисунок 3 – Схема имитационного натурно-математического моделирования системы управления объектом с целенаправленно изменяемой структурой

Конкретизация предлагаемых подходов, результаты реализации на промышленных объектах горнодобывающей отрасли дали основание для заключения об их эффективности и необходимости расширения теоретических исследований и распространения на технические и социально-экономические объекты.

Работа выполнена по Госзаданию Минобрнауки России N8.8611.2017/8.9.

Библиографический список

1. Емельянов С.В. Системы, целенаправленность, рефлексия / С.В. Емельянов, Э.Л.

Наппельбаум // Системные исследования: ежегодник, 1981. – М.: Наука, 1981. – с. 7-86.

2. Емельянов С.В., Коровин С.К., Рыков А.С. и др. Методы идентификации промышленных объектов в системах управления. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2007. – 307 с.

3. Емельянов С.В., Коровин С.К., Мышляев Л.П. и др. Теория и практика прогнозирования в системах управления. – Кемерово: Издат. объединение «Российские университеты»; Кузбассвуиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.

4. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М.: Наука, 1967. – 336 с.

5. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.

6. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х т. Т. 2: Системы автоматизации производственного назначения. / Под ред. Л.П. Мышляева. – М.: Наука, 2006. – 483 с.

7. Авдеев В.П., Кустов Б.А., Мышляев Л.П. Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой. – Новокузнецк: Кузбасский филиал Инж. Академии, 1992. – 188 с.

8. Evtushenko V.F., Burkov V.N., Myshlyaev L.P., Makarov G.V. Specific aspects of evaluation of control systems similarity. IOP Conference Series: Earth and Environment Science, 2017, Volume 84, conference 1. <http://iopscience.iop.org>.

ПРЕЦЕДЕНТНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Кулаков С.М., Трофимов В.Б., Добрынин А.С., Тараборина Е.Н.

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

Функционирование большого количества используемых человеком объектов (механизмов, машин, транспортных средств, технологических агрегатов, человеко-машинных комплексов разного масштаба и назначения), а также работа, малых и больших коллективов людей организованы циклически. Последнее предполагает повторение, с некоторой точностью, определенного набора действий, управлений, операций, выполнение которых позволяет получить желаемый (заданный) результат по окончании каждого цикла работы. Многократное воспроизведение и контроль циклов за определенный отрезок времени (смену, сутки, месяц) позволяет накопить данные о программах управления, условиях и результатах их реализации, о траекториях изменения контролируемых переменных. Эти данные могут (и должны) быть использованы для формирования эффективных программ управления предстоящими циклами работы объекта в условиях изменения свойств возмущающих воздействий и каналов управления, а также разнообразия цикловых заданий (заказов) на получаемую продукцию.

В докладе представлены: задача формирования и реализации цикловых программ управления сложным технологическим объектом (СТО) или производственным комплексом, новая структура системы программного управления, процедура (алгоритм) формирования программы для каждого предстоящего цикла работы объекта. Отличительной особенностью предлагаемой системы и процедуры является новая интерпретация и конкретизация известного в международной юридической практике метода принятия решений на основе прецедентов [1], а также аналогичного метода выбора регулярных (повторяющихся) решений в интеллектуальных системах управления на основе прецедентов [2-5], которые сочетаются с идеей ретроспективной оптимизации и прогнозирования управлений [6, 7].

Прежде чем излагать суть и конкретику предлагаемого прецедентного подхода к программному управлению циклическими объектами обратимся к терминологии и содержанию

известного метода принятия судебных решений на основе прецедентов и к методам рассуждений на основе прецедентов, относящимся к теории интеллектуальных систем.

Прецедент (praecedens, лат. – идущий впереди) – случай, имевший ранее место и служащий примером или оправданием случаев подобного рода [8].

Юридический прецедент – решение определенного суда или органа исполнительной власти по конкретному судебному или административному делу, ставшее образцом для решения аналогичных дел в будущем [9].

Прецедентное право – правовая система (Англии, США, Канады и др. стран), в которой основным источником права признается прецедент судебный. При отсутствии четких определений закона судьи имеют полномочия и обязанность творить право, создав прецедент на основе «подобных дел». Решение по конкретному рассматриваемому делу в дальнейшем будет применяться к другим подобным делам.

Согласно [2,8,9] методы рассуждения на основе прецедентов включают 4 основных этапа выработки решения, которые составляют прецедентный цикл:

– Retrieve [ri'triv] – извлечение, из библиотеки прецедентов, подобного прецедента или подмножества прецедентов, соответствующих ситуации, в которой требуется принять очередное (новое) решение.

– Reuse [ri:'ju:z] – повторное использование извлеченного прецедента (прецедентов) для принятия очередного решения.

– Revise [ri'vaiz] – пересмотр (коррекция), в случае необходимости, прецедентного решения в соответствии с рассматриваемой (очередной) задачей (проблемой).

– Retain [ri'tain] – сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента (для будущих аналогичных ситуаций).

Структура прецедентного цикла приведена на рисунке 1.

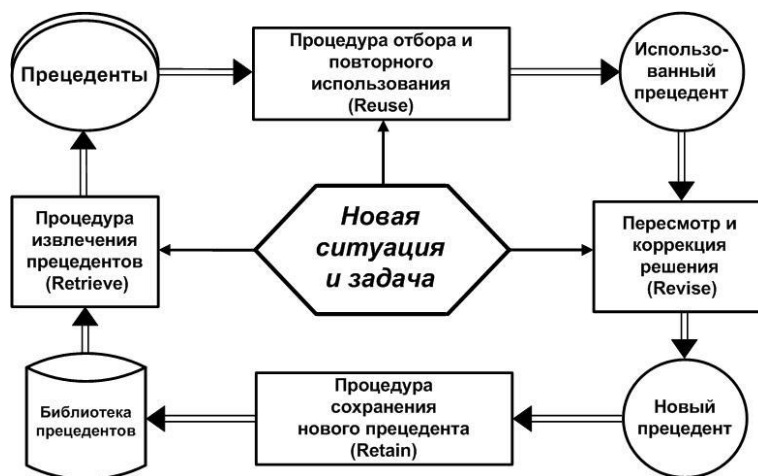


Рисунок 1 – Общее представление прецедентного цикла принятия решений в подобных ситуациях

Модель каждого прецедента включает описание трех основных компонент: ситуации, решения задачи, результата применения решения. В тех случаях, когда такого описания недостаточно для реализации прецедентного цикла используется онтология (формальное описание) предметной области, к которой относится рассматриваемая задача принятия решений. Онтология, в свою очередь, включает: конечное множество концептов (понятий, терминов), конечное множество отношений между концептами, конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и отношениях.

Задачи оперативного управления и календарного планирования работы сложных технологических агрегатов и комплексов циклического класса обычно формулируются и решаются на базе функциональных, физико-химических, балансовых и других моделей объектов управления. Примерами такого рода систем являются современные АСУТП сталепла-

вильных агрегатов (конвертеров, дуговых печей), камерных нагревательных и термических печей, коксовых батарей, прокатных станков, производств по изготовлению резервуарных конструкций, сложных станков и транспортных средств, комплексов комбайновой добычи угля в шахтах и т.д. Их недостатком является наличие значительных ошибок в управляющих воздействиях, которые обусловлены неточностью используемых моделей, неполнотой информации об изменениях свойств объекта управления и многовариантных возмущающих воздействий. В таких АСУТП не учитывается тот факт, что каждый цикл работы объекта порождает не только материальные продукты (технические изделия, материалы, энергию), но и массивы данных, представляющих собой информационную модель конкретного технологического цикла.

Выше представленный прецедентный подход к выбору управляющих решений (воздействий), в виде программы управления каждым предстоящим технологическим циклом, позволяет гораздо более полно использовать оперативную информацию о работе объекта и управляющей системы и, за счет этого, – уменьшить количество ошибок управления (повысить его эффективность). Далее рассмотрим, как должна выглядеть функционально-алгоритмическая структура системы управления агрегатом циклического действия, которая основана на прецедентном подходе к выработке программ управления регулярными (повторяющимися) циклами.

При разработке автоматизированных процедур управления СТО важно учитывать, что каждый технологический цикл часто не является точным повторением ранее реализованных циклов. Последние в той или иной степени различаются: целями управления (свойствами и характеристиками выпускаемого продукта), изменяющимися свойствами и параметрами технологического агрегата (из-за его старения, применения разных материалов и режимов, изменения нагрузки), опытом и приемами управления разных операторов – технологов, свойствами внешних (возмущающих) воздействий. Представленный на рисунке 1 прецедентный цикл формирования и реализации программ управления такими объектами должен быть так изменен и дополнен, чтобы учитывались названные особенности и отличительные черты.

Задача прецедентного управления СТО может быть сформулирована следующим образом.

Дано: а) Содержательное описание действующего сложного технологического объекта в соответствии с рисунком 2.



Рисунок 2 - Общее представление объекта управления – сложного технологического агрегата (комплекса)

$Y_j^d(t), U_j^d(t), W_K^d(t)_j, W_{HK}^d(t)_j$ – действительные выходные воздействия СТО на внешнюю среду в j -ом технологическом цикле в момент времени t , действительные управляющие воздействия на СТО, действительные контролируемые внешние воздействия на СТО, действитель-

ные неконтролируемые внешние воздействия на СТО, соответственно;

$Y_j^n(t_i), U_j^n(t_i), W_k^H(t_i)_j, S_j^n(t_i)$ - вектор натуральных измерительных сигналов (данных) о выходных воздействиях объекта, относящихся к j -му технологическому циклу и дискретному моменту времени t_i , вектор сигналов о натуральных управляющих воздействиях на объект, вектор натуральных сигналов о контролируемых внешних воздействиях (возмущениях), вектор натуральных сигналов, характеризующих состояние объекта в j -ом цикле в момент t_i ; $Z_j^n(t_i)$ - обобщенный вектор натуральных сигналов, получаемых от датчиков-преобразователей $\uparrow \downarrow DP_U, DP_S, DP_Y, DP_W$; - условное обозначение исполнительных механизмов (ИМ) и датчиков-преобразователей (ДП).

б) Ретроспективная информационная модель работы действующей системы управления в виде базы данных о параметрах $\{Z_{j-m}^n(t_i); m=1,2,\dots,M; t_i(j-m) \in T_{j-m}\}$ фактически реализованных технологических циклов.

в) Разностные (пересчетные) математические модели влияния приращений $\Delta u_p(t_i) = u_p^n(t_i) - u_p(t_i)$ управляющих воздействий $u_p(t_i) \in U_j(t_i), p \in P_j$ и контролируемых возмущений $\Delta w_{kr}(t_i) = w_{kr}^H(t_i) - w_{kr}(t_i)$ на изменения выходных переменных $\Delta y_n^{HM}(T_j)$ и состояний $\Delta s_m^{HM}(T_j)$ объекта на момент окончания технологического цикла.

г) Критерий оптимальности управления технологическим циклом T_j , например суммарные затраты $Q(T_j)$ на реализацию цикла.

д) Ограничения на управляющие воздействия типа $U_j(t_i) \in \Omega(U, T_j)$, где $\Omega(U, T_j)$ - область допустимых значений составляющих вектора управлений в цикле T_j .

е) Информация о стартовом состоянии $\tilde{S}(t_0)_{j+1}$ объекта управления на момент t_0 начала очередного $(j+1)$ -го периода (цикла) его работы, а также о контролируемых возмущениях $\tilde{W}_k(t_0)_{j+1}$.

Требуется: модифицировать метод принятия решений на основе прецедентов применительно к управлению СТО циклического действия, конкретизировать его в форме процедуры (алгоритма) формирования и реализации программ управления и функциональной структуры прецедентной системы управления.

Эффективность метода прецедентов применительно к управлению СТО циклического действия во многом зависит от количества высококачественных и актуальных прецедентов (соответствующих текущему состоянию объекта, внешним воздействиям и заданию предстоящего технологического цикла, а также безошибочным решениям, операторов – технологов в ближайших прошлых циклах). При значительном разнообразии заданий на выпуск продукции (например, в современном сталеплавильном конвертерном цехе может выплавляться более 150 марок стали), а также при большой мощности множества ситуаций по внешним воздействиям и ошибкам измерений, отобрать хотя-бы 5 безупречных прецедентов на каждый вид продукции весьма сложно. Поэтому целесообразно, по окончании каждого технологического цикла не отбрасывать ошибочные решения, а корректировать их, решая задачу ретроспективной оптимизации. При этом можно опираться на подобную оптимизацию в методе восстановительно-прогнозирующего автоматического управления, описанном в работах [6,7] и защищенном рядом патентов на изобретения.

Отбор прецедентов из множества прошлых технологических циклов по отношению к предстоящему циклу может осуществляться исходя из совпадения целей и ограничений, близости параметров качества получаемой продукции, близости продолжительности свершившегося и предстоящего циклов, близости начальных условий, а также из наименьших затрат на выпуск единицы продукции.

Процедура решения выше сформулированной задачи на основе метода прецедентов

включает следующие составляющие:

1. Контроль параметров $Z_j^H(t_i) = \{Y_j^H(t_i), S_j^H(t_i), W_K^H(t_i)_j, U_j^H(t_i), t_i \in [0, T_j]\}$ и расчет оценок показателей $Q_m(T_j) = F_m\{Z_j^H(t_i), t_i \in [0, T_j]\}, m \in M_E$ эффективности системы управления по ходу и по окончании j -го временного отрезка $[0, T_j]$. В частности, в качестве основного показателя эффективности можно использовать затраты на реализацию j -го технологического цикла. Компоненты вектора $Z_j^H(\cdot)$ имеют вид:

$$\begin{aligned} Y_j^H(t_i) &= [y_1^H(t_i), \dots, y_n^H(t_i), \dots, y_N^H(t_i)]_j & S_j^H(t_i) &= [s_1^H(t_i), \dots, s_l^H(t_i), \dots, s_L^H(t_i)]_j \\ & \vdots & & \\ W_{Kj}^H(t_i) &= [w_{K1}^H(t_i), \dots, w_{Kr}^H(t_i), \dots, w_{KR}^H(t_i)]_j; & U_j^H(t_i) &= [u_1^H(t_i), \dots, u_p^H(t_i), \dots, u_P^H(t_i)]_j \end{aligned} \quad (1)$$

Все данные об измеренных значениях параметров $Z_j^H(t_i)$, о фактически реализованной программе управления $PR(j, t_i)$, а также об оценках расчетных показателей $\{Q_m^H \cdot (T_j)\}$ размещаются в специальной базе.

2. Ретроспективная оптимизация (по окончании j -го технологического цикла) фактически реализованной программы:

$$PR^H(j, t_i) = \{u_1^H(t_i, \tau_1), \dots, u_p^H(t_{pi}, \tau_p), \dots, u_P^H(t_i, \tau_P); Y_j^H(t_i); S_j^H(t_i); t_i, t_{pi} \in [0, T_j]\} \quad (2)$$

где $\{u_1^H(\cdot), \dots, u_p^H(\cdot); t_i \in [0, T_j]\}$ - фактическая программа управлений;

$Y_j^H(\cdot)$ - фактическая программа выходных переменных объекта;

$S_j^H(\cdot)$ - фактическая программа переменных состояния объекта;

$\tau_1, \dots, \tau_p, \dots, \tau_P$ - длительности нанесения $1, \dots, p, \dots, P$ -го управляющих воздействий;

t_i - текущий (i -ый) момент времени, относящийся к циклу $[0, T_j]$;

t_{pi} - момент начала нанесения p -го управляющего воздействия. Оптимизация осуществляется в соответствии с формулой (3):

$$PR^O(j, t_i) = \begin{cases} PR^H(j, t_i), \text{ при } Y_j^H(T_j) = Y_j^*(T_j); S_j^H(T_j) = S_j^*(T_j); \\ Ag\{PR^H(j, t_i); t_i, t_{pi} \in [0, T_j]\}; \text{ при } Y_j^H(T_j) \neq Y_j^*(T_j); S_j^H(T_j) \neq S_j^*(T_j) \end{cases} \quad (3)$$

где $PR^O(j, t_i)$ - оптимизированная программа управления для j -го технологического цикла;

$Ag\{\cdot\}$ - оператор (алгоритм) ретроспективной оптимизации [6,7] фактической (натурной) программы $PR^H(j, t_i)$, реализованной в период $[0, T_j]$; $Y_j^*(T_j), S_j^*(T_j)$ - заданные значения выходных переменных и переменных состояния объекта по окончании технологического цикла, т.е. в момент времени $t_i = T_j$.

$$PR^O(j, t_i) = \{u_1^O(t_i, \tau_1), \dots, u_p^O(t_i, \tau_p); Y_j^O(t_i); S_j^O(t_i); W_K(j, t_i); t_i, t_{pi} \in [0, T_j]\} \quad (4)$$

Первая строка формулы (3) соответствует случаю, когда фактические и заданные значения целевых переменных $Y_j^H(T_j), S_j^H(T_j), Y_j^*(T_j), S_j^*(T_j)$ практически (с заданной точностью) совпадают, то есть оператор $Ag\{\cdot\} = 1$. Вторая строка реализуется тогда, когда указанные значения целевых переменных существенно различаются.

Оператор $Ag\{\cdot\}$ использует разностную математическую модель объекта управления следующего вида:

$$\begin{cases} \Delta y_n^{HM}(T_j) = \Phi_n \{ [u_p^H(t_i) - u_p(t_i)]_j; p \in [1, P]; n \in [1, N]; u_p^H, u_p \in U_j^H \}, \\ \Delta S_m^{HM}(T_j) = F_m \{ [u_p^H(t_i) - u_p(t_i)]_j; m \in [1, M]; p \in [1, P]; u_p^H, u_p \in U_j^H \}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\Phi_n\{\cdot\}, F_m\{\cdot\}$ операторы пересчетного (разностного) вида, которые в простейшем виде представляют собой таблицы коэффициентов пересчета:

$$\Delta u_p \rightarrow \Delta y_n; \quad \Delta u_p \rightarrow \Delta s_m \quad (6)$$

Оптимизированные программы управления $\{PR^O(j, t_i); j \in J; t_i \in [0, T_j]\}$ размещаются в специальной базе оптимальных (рациональных) программ, которые рассматриваются как прецеденты на этапе формирования программ управления предстоящих технологических циклов.

3. Формирование подмножества актуальных прецедентов для предстоящего (j+1)-го периода работы объекта.

$$\{\hat{PR}(j-m), m \in [0, M]\} \Leftarrow B\{[Y_{j-m}^O(T), Y_{j+1}^*(T), m = \overline{0, M}]; [S_{j-m}^O(T), S_{j+1}^*, m = \overline{0, M}]\}, \quad (7)$$

где $B\{\cdot\}$ - алгоритм отбора прецедентов, которые соответствуют заданным значениям целевых переменных $Y_{j+1}^*(T), S_{j+1}^*(T)$ предстоящего (j+1)-го цикла.

Отбор программ $\{\hat{PR}(j-m)\}$ осуществляется по критерию максимальной близости значений $y_{j-m}^O(T), s_{j-m}^O(T)$ к заданным значениям $y_{j+1}^*(T), s_{j+1}^*(T)$. Элементы множества $\{\hat{PR}(j-m), m \in [0, M]\}$ упорядочиваются по убыванию критерия близости.

4. Интерактивный выбор оператором – технологом той ретроспективно-оптимальной программы $PR^*(j+1, t_i)$ из упорядоченного множества $\{\hat{PR}(j-m)\}$, которая соответствует его предпочтениям: $PR^*(j+1, t_i) \in \{\hat{PR}(j-m), m \in [0, M]\}$.

5. Корректировка выбранной программы-прецедента $PR^*(j+1, t_i)$ при наличии существенных отклонений параметров возмущений $W_K^H(j+1, t_i)$, предстоящего цикла работы ТООУ от соответствующих параметров $W_K(j+1, t_i)$ выбранной программы. При этом используется разностная математическая модель (5), которая дополнена разностной моделью влияния контролируемых возмущающих воздействий.

На рисунке 3 представлена функциональная схема системы управления, которая реализует выше описанную процедуру формирования программ управления сложным объектом на базе прецедентного подхода.

Важным вопросом по отношению к данной схеме является вопрос об отличиях и преимуществах данного метода управления СТО от других методов, в частности метода, основанного на типопредставителях [12] или метода, использующего ретроспективный анализ аналогов и прототипов [13,14]. Считаем, что главным отличием (и преимуществом) является использование, в режиме реального времени, данных о работе действующей системы управления, оперативное накопление и отбор лучших практик управления [15]. При этом не требуется строить и непрерывно корректировать математическую модель сложного объекта управления. Можно ограничиться пересчетными коэффициентами по отношению к фактически реализованным управлениям и контролируемым возмущениям.

В качестве конкретного примера использования представленного прецедентного подхода рассмотрим задачу построения планограммы работ очистного комбайнового комплекса КМ138 (с комбайном РКУ 13) в течение смены [16,17,18]. Планограмма выполняется сменным звеном, включающем 10-11 человек (машинист комбайна, 7 горнорабочих, 2-3 элект-

рослесаря). Параметры угольного пласта: мощность 1,8 м, длина лавы -180 м. Ширина захвата угольного комбайна – 0,63 метра. Номинальная скорость хода комбайна – 5 м/мин. Нормативное время обслуживания (за один рабочий цикл) – 30 мин.

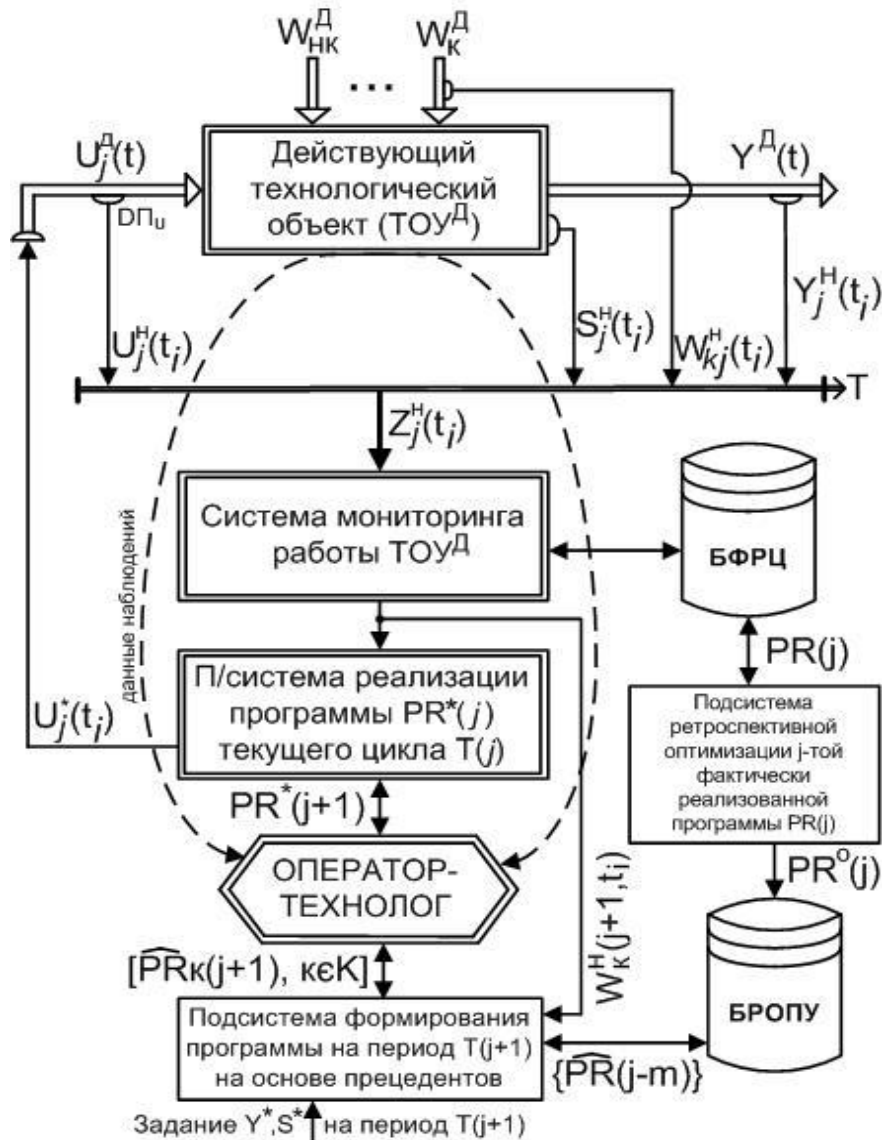


Рисунок 3 – Схема формирования и реализации программ управления сложным технологическим объектом на основе прецедентов

(БФРЦ – база данных о фактически реализованных технологических циклах; БРОПУ – база ретроспективно-оптимальных программ управления; $PR(j), PR^o(j)$ – фактически реализованная и оптимизированная программа работы объекта в период T_j соответственно; $PR^*(j+1)$ - заданная программа работы на период $T(j+1)$; $\{PR^o(j-m)\}$ - программы из базы БРОПУ за периоды $\{T(j), T(j-1), \dots, T(j-m)\}$).

В каждом рабочем цикле звено выполняет следующие типовые операции: подготовительно-заключительные, зарубка комбайна, управление комбайном при выемке угля, вспомогательные операции, передвижка секций крепи, зачистка основания крепи, подготовка комбайна к перегону, управление комбайном при перегоне, ручная зачистка угля не погруженного комбайном, подготовка к передвижению конвейера, передвижка конвейера, сопряжение лавы с конвейерным штреком, сопряжение лавы с вентиляционным штреком.

В качестве планограммы - прецедента выбран график, показанный на рисунке 4, который характеризуется безаварийной работой в течение смены. Его временные характеристики

показаны в 1-й строке таблицы 1.

Таблица 1 - Расчетные параметры циклов рабочей смены

№ п/п	Момент начала смены t_o	Время приема-передачи смены, мин	Начало/окончание технологических циклов, мин				Скорость рабочего хода комбайна, м/мин.				Скорость перегона комбайна по циклам, м/мин.				Паузы между циклами, мин.			Программы
			T_1	T_2	T_3	T_4	V_1^*	V_2^*	V_3^*	V_4^*	V_1^n	V_2^n	V_3^n	V_4^n	τ_1	τ_2	τ_3	
1	0	38	$\frac{38}{125}$	$\frac{125}{210,5}$	$\frac{210,5}{297,5}$	$\frac{297,5}{384,5}$	5,4	5,0	5,0	5,0	5,4	5,0	5,0	5,0	7,5x4	7,5x4	6x3	PR_j
2	0	19,5	$\frac{19,5}{104,5}$	$\frac{104,5}{190,0}$	$\frac{190,0}{275}$	$\frac{275}{360}$	5,5	5,9	5,0	5,0	5,5	5,9	5,0	5,0	6,8x4	6,8x4	5,9x4	PR_j^o

Недостатком прецедента является неполное завершение последнего (4-го) цикла работы на момент окончания смены. Потерянное время составило 24,5 мин. Оптимизация планаграммы может быть выполнена путем сокращения с 38 до 19,5 минут времени на прием – передачу смены и на 0,1 - 0,2 мин – времени пауз между циклами. Параметры оптимизированной планаграммы приведены во второй строке таблицы 1.

Отметим, что приведенный пример формирования планаграмм является иллюстративным (упрощенным). Реальная задача такого рода требует полной регистрации всех процессов и действий рабочего звена в течение каждой смены, подробного ретроспективного анализа и оптимизации планаграммы не только по критерию производительности, но и по критерию безопасности, а также по другим показателям.



Рисунок 4 – Планаграмма работы звена, выбранная в качестве прецедента

Библиографический список

1. Богдановская И.Ю. Прецедентное право.-М.: Наука, 1993.-239 с.
2. Варшавский П.Р. Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин //International Journal “Information Models and Analyses” vol. 2, №4, 2013, с. 386-392.
3. Малых В.Л. Управляемый стохастический прецедентный процесс с памятью как математическая модель лечебно – диагностического процесса /В.Л. Малых, Я.Н. Гулиев //Информационные технологии и вычислительные системы.-2014.-№2 с. 92-99.
4. Карпов Л.Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов./Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин //Труды института системного программирования РАН, т.13,ч.2.-М., 2007,-с. 37-57.
5. Авдеенко Т.В. Система поддержки принятия решений в IT-подразделениях на ос-

нове интеграции прецедентного подхода и онтологии /Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, №3.-Астрахань: Издательство АГТУ, 2017.-с. 85-99.

6. Авдеев В.П. Восстановительно–прогнозирующие системы управления / В.П. Авдеев, В.Я. Карташев, Л.П. Мышляев, А.А. Ершов.-Кемерово: КемГУ, 1984.-89 с.

7. Авдеев В.П. О восстановительно–прогнозирующем регулировании технологических процессов /В.П. Авдеев, Л.П. Мышляев, В.Н. Соловьев // Известия вузов. Черная металлургия.-1978.-№10.-с. 165-168.

8. Большой словарь иностранных слов.-М.:ЮНВЕС, 2003.-784 с.

9. Электронный ресурс: www.grandars.ru . Дата обращения: 13.11.2017.

10. Aomond A., Plaza E. Case-Based Reasoning: Foundation Issues. Methodological Variator's and System Approaches // Artificial Intelligence Communications. JOS Press. 1994.-Vol.7,№1,-p.29-59.

11. Варшавский П.Р. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. 2006. №3.-с.39-62.

12. Авдеев В.П. Выбор типопредставителей в задачах исследования и управления /В.П. Авдеев, Г.А. Бегищев, А.В. Пинтов, С.Р. Зельцер // Известия вузов. Черная металлургия – 1980.-№6.-с.98-102.

13. Мышляев Л.П. Планирование длительности выполнения проекта на основе ретроспективного анализа / Л.П. Мышляев, В.В. Грачев, А.А. Ивушкин., А.П. Бражников // Системы управления и информационные технологии.-2007.-№2.2(28).- с. 273-276.

14. Авдеев В.П. Человеко-машинное прогнозирование программ управления конвертерной плавкой / В.П. Авдеев, В.И. Соловьев, Ю.Н. Борисов, А.Е. Кошелев, В.И. Веревкин // Известия вузов. Черная металлургия.-1974.-№10.-с. 163-165.

15. Зимин В.В. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации: (лучшие практики ИТIL) /В.В. Зимин, А.А. Ивушкин, С.М. Кулаков, К.А. Ивушкин.-Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013.-500 с.

16. Васюченков Ю.Ф. Горное дело. Учебник. М.: Недра, 1990.-512 с.

17. Пучков Л.А. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Том 2 / Л.А. Пучков, Ю.А. Жежелевский.-М.: Горная книга, 2013.-720 с.

18. Милехин Г.Г. Процессы очистных работ. Методические указания по выполнению самостоятельных работ и курсового проектирования для студентов заочного обучения специальности 130404.-Подземная разработка месторождений полезных ископаемых /Г.Г. Милехин, А.Н. Любин. Мурманск: изд-во Апатитского филиала МурГТУ, 2006 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ И ВЕЙВЛЕТ-СРЕДЕ

Федосенков Д.Б.¹, Симикина А.А.², Федосенков Б.А.²

¹*Сибирская генерирующая компания, г. Москва, Россия*

²*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности,
г. Кемерово, Россия*

С внесением понятия "wavelets" в сферу управления возникла необходимость введения и разделения понятий "одномерно-точечные" и "многомерно-точечные" САУ. В первых - в каждой физической точке системы рассматривается одномерный (*ID*-) сигнал, в САУ второго типа - многомерный (*MD*-сигнал). При этом и те, и другие САУ можно именовать и рассматривать как многомерные системы, но вкладывая в эти понятия различную семантику: 1) одномерно-точечные САУ с точки зрения метода пространства состояний как базового аппарата теории управления в рамках современной парадигмы представляют собой многомерные,

или векторные, системы; при этом сигнальные векторы (управления $u(t)_i$, состояния $x(t)_j$, выхода $y(t)_k$) формируются в таких системах как совокупности (множества) скалярных ($1D$ -) сигналов, распределенных по разным точкам системы; 2) многомерно-точечные САУ являются мультимерными по самой природе тех отображений $1D$ -сигналов, которыми последние заменяются в системе; при этом сигнальные векторы формируются как физически сосредоточенные в соответствующей точке векторы, интерпретируемые как векторно-сосредоточенные сигналы.

Часть I. Одномерно- и многомерно-точечные системы в пространстве состояний и вейвлет-среде

Для демонстрации совместного использования подходов на базе понятий пространства состояний и вейвлет-преобразований рассмотрен метод оптимального управления разнохарактерными технологическими объектами в среде пространства состояний, представленной в виде время-частотных отображений (карт). Анализируемый технологический объект представляет собой смесеприготовительный агрегат для производства дисперсных смесевых композиций.

Автоматизированная система управления сформирована на базе способа преобразования подобия, что позволяет исключить использование редуцированных наблюдателей переменных состояния.

В представленной системе используются так называемые распределения класса Коэна [2] - для индикации с их помощью сигналов текущих материалопотоков. Эта особенность делает систему управления эффективной, а с точки зрения пользователя - более информативной и семантически ясной.

Рассматривается линейная стационарная система, описывающая процесс мультидозирования в соответствующем блоке смесеприготовительного агрегата, динамика которого имеет вид

$$\begin{aligned}x(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t), \quad x(t_0) = x_0\end{aligned}$$

Система строго каузальна [1], поэтому матрица выхода по управлению $D = 0$. Здесь $x(t) \in R^n$ - вектор переменных состояния (ВПС); $u(t) \in R^m$ - вектор управления; $y(t) \in R^r$ - вектор выхода; $x_0 \in R^n$ - ВПС в момент времени $t=t_0$; A, B, C - матрицы размерностей $(n \times n)$, $(n \times m)$, $(r \times n)$.

Ставится задача перевести систему мультидозирования из начального состояния x_0 в минимально возможное состояние за время в интервале $[t_0, t_f]$, без затраты чрезмерно больших управляющих воздействий $u(t)$ для достижения этой цели. Тогда задача оптимального регулятора (линейного квадратичного регулятора - ЛКР) формулируется как задача определения оптимального закона управления $u^*(t)$ на интервале $[t_0, t_f]$, при котором будет минимизирован следующий критерий оптимизации J :

$$\int_{t_0}^{t_f} [x^T(t) \cdot Q_x \cdot x(t) + u^T(t) \cdot R \cdot u(t)] dt + x^T(t_f) \cdot Q_f \cdot x(t_f),$$

где $Q_x \in R^{n \times n}$ и $Q_f \in R^{n \times n}$ - симметричные неотрицательно определенные матрицы (соответственно матрицы веса интегральных квадратичных оценок качества при векторах текущего Q_x и конечного Q_f состояния процесса дозирования, а $R \in R^{m \times m}$ - симметричная положительно определенная матрица, отражающая вклад каждой скалярной компоненты вектора управления $u(t)$ в критерий оптимальности. Иными словами, решается так называемая задача Больца [1], то есть фактически дается решение задачи целенаправленной смены закона оптимального управления в ответ на обнаруживаемый в ходе текущего мониторинга эффект изменения комплекса характеристик материалопотока на выходе j -го дозатора или на выходе узла суммирования материалопотоков дозирования. Включение в структуру оптимальной системы управления блока оценки неравномерностей материалопотока в смесепри-

готовительном агрегате позволит осуществлять оптимальное управление смесеприготовительными процессами в пространстве состояний с использованием текущего мониторинга в вейвлет-среде.

При этом ID -материалопотоковые сигналы, формируемые первичными преобразователями (тензометрическими и пьезоэлектрическими датчиками), преобразуются средствами вейвлет-трансформаций в многомерные сосредоточенные переменные в виде время-частотных распределений класса Коэна [2]. Таким образом, закон управления по полному вектору состояния, записанному в формате упомянутых распределений, будет выглядеть так:

$$u(t) = K \cdot Coh(t, \omega),$$

где $\dim Coh(t, \omega) = (n \times 1)$,

t – текущее время,

ω – мгновенная угловая частота атомов время-частотного распределения, а уравнения состояния и выхода для каузальных систем запишутся соответственно

$$\partial \{ Coh(t, \omega) \} / \partial t = A \cdot Coh(t, \omega) + B \cdot K \cdot Coh(t, \omega) = (A + B \cdot K) \cdot Coh(t, \omega) = H \cdot Coh(t, \omega)$$

$$y(t) = C \cdot Coh(t, \omega) + D \cdot K \cdot Coh(t, \omega) = (C + D \cdot K) \cdot Coh(t, \omega)$$

Учитывая, что ряд переменных состояния (ПС) невозможно регистрировать технически, было решено формировать альтернативные векторы переменных состояния (ВПС) на основе способа преобразования подобия. При этом матрицы состояния, управления и выхода по состоянию изменяются в соответствии с выражениями

$$A_v = P^{-1} A \cdot P; B_v = P^{-1} B;$$

$$C_v = C \cdot P; D_v = D.$$

Отметим, что альтернативный вектор $Coh(t, \omega)_v$ формируется в зависимости от возможностей/невозможностей его регистрации и ряда режимно-конструктивных параметров блока дозирования. В частности, здесь описан сформированный альтернативный ВПС, отражающий процесс мультидозирования в блоке, включающем дозатор дискретного действия и два дозатора непрерывного действия. Скалярные компоненты альтернативного вектора формировались в виде линейных комбинаций исходного вектора, причем, в состав нового ВПС входили только реальные сигнальные компоненты – виртуальные ПС исходного вектора, возникавшие при представлении сигнала дозатора дискретного действия в виде Фурье-модели, не учитывались. Следовательно, при использовании в задаче нового альтернативного ВПС и формировании из него сигнала управления по полному вектору обратной связи по состоянию отпадала необходимость в использовании редуцированных наблюдателей, что значительно упрощало структуру системы управления. Например, процесс дозирования многокомпонентным блоком описывался векторно-матричной моделью 17-го порядка, а процедура обращения матрицы перехода от исходного вектора состояния к альтернативному реализовывалась в пакете MathCad.

Оптимизация стационарной системы дозирования по квадратичным интегральным оценкам качества выполнялась в соответствии с критерием оптимальности, записываемому в виде квадратичной формы $Coh^T(t, \omega) K \bar{Coh}(t, \omega) = J$ (функции Беллмана), в которой симметричная матрица K определяется в ходе решения матричного дифференциального уравнения Риккати; при этом квадратичная форма с матрицей K может записываться в виде функционалов Больца и Лагранжа [1].

Итак, при критерии оптимальности в форме Лагранжа функционал имеет вид:

$$J = Coh^T(t, \omega) \cdot \bar{K} \cdot Coh(t, \omega) = \int_{t_0}^{t_f} [Coh^T(t, \omega) \cdot Q \cdot Coh(t, \omega) + u^T(t) \cdot R \cdot u(t)] dt \quad (1)$$

Под интегралом- 2 квадратичные формы:

1) квадратичная форма состояния системы $Coh^T(t,\omega) \cdot Q \cdot Coh(t,\omega)$ с положительно определенной симметричной матрицей Q , $\dim Q = (n \times n)$;

2) квадратичная форма управления $u^T \cdot R \cdot u$ с положительно определенной симметричной матрицей R , $\dim R = (m \times m)$. Требуется найти оптимальное управление с ОС, переводящее систему из произвольной начальной точки $Coh(t_0,\omega) = Coh(0)$ в конечную точку $Coh(\infty) = 0$ и обеспечивающее \min функционала (1).

Таким образом, алгоритм синтеза стационарного линейного регулятора состояния для процессов дозирования выглядит так.

В исходных данных должны быть заданы следующие условия:

- уравнение состояния системы (или непосредственно матрицы A и B для блока мультидозирования);

- целевой функционал J (т.е. критерий оптимальности) в форме (1).

Функционал J и две подынтегральные квадратичные формы суть скалярные функции.

1. Определяем матрицу Q из квадратичной формы $Coh^T(t,\omega) \cdot Q \cdot Coh(t,\omega)$, выполняя операции умножения матрицы Q с векторами распределений Коэна и сравнивая полученный результат с формой заданного функционала J .

2. Аналогичным образом определяем матрицу веса R в квадратичной форме управления.

3. Следующий этап – определение элементов матрицы \bar{K} , входящей в состав квадратичной формы в виде функции Беллмана $J = Coh^T(t,\omega) \cdot \bar{K} \cdot Coh(t,\omega)$, из алгебраического уравнения Риккати [1]

$$-\bar{K} \cdot A - A^T \cdot \bar{K} + \bar{K} \cdot B \cdot R^{-1} \cdot B^T \cdot \bar{K} - Q = 0.$$

Выполняя операции умножения матриц и, в конечном счете, операции сложения, получаем равенство вида

$$\begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix},$$

$$\dim z = (n \times n), \dim 0 = (n \times n).$$

Из последнего матричного равенства записываем n^2 однородных уравнений, и, решая их совместно, определяем коэффициенты k_{ij} матрицы \bar{K} .

4. Проверяем элементы k_{ij} матрицы \bar{K} на положительную определенность по критерию Сильвестра [1], и, в соответствии с критерием, определяем истинные значения коэффициентов k_{ij} .

5. Формируем оптимальный закон управления, подставляя найденные коэффициенты k_{ij} в выражение

$$u^*(t) = R^{-1} \cdot B^T \cdot \bar{K} \cdot Coh(t,\omega).$$

Для получения графического представления оптимального закона управления $u^*(t)$, нужно определить все ПС в формате распределений Коэна, входящие в закон оптимального управления. Расчет ПС осуществляется по скалярным уравнениям состояния с ПС в виде время-частотных распределений с учетом матриц A и B блока дозирования.

Для минимизации функционала J в расчетах использовались (как было указано выше) мультимерные сосредоточенные переменные в виде время-частотных распределений класса Коэна $Coh(t,\omega)$ (в нашем случае – распределения Вигнера [6] и Чуи-Уилльямса [2, 4]).

При расчете время-частотных распределений сложных мультикомпонентных сигналов, последние выражаются в виде дискретных решетчатых функций. В этом случае, в соответствии с теоремой отсчетов [5], распределение Вигнера решетчатого сигнала определяется как

$$W(t, \omega) = \frac{T}{\pi} \sum_{k=0, \infty} s^*(t - kT) s(t + kT) \exp(-j2\omega kT), \quad (2)$$

где $1/T$ – частота отсчетов (частота дискретизации); выбирается из соотношения

$$T \leq \pi/2\omega_{\max},$$

где ω_{\max} – максимальная частота в спектре сигнала. Как видно из выражения (6), дискретное распределение Вигнера – периодически с периодом π (поскольку частота мнимой экспоненты равна 2ω), а не 2π – как в случае непрерывного сигнала. Следовательно, частота дискретизации ω_s должна быть в два раза больше частоты Найквиста ω_N , то есть:

$$\omega_s \geq 2\omega_N = 4\omega_{\max}.$$

При решетчатой форме сигнала материалопотока, дискретизированного по времени

$$\hat{x}(t) = \sum_{n=0, \infty} x(nT) \delta(T - nT)$$

и непрерывной частоте ω получаем дискретную версию распределения Вигнера:

$$\hat{W}(n, \omega) = \sum_{k=0, \infty} s^*((n - 2k)T) s(kT) \exp[-j\omega(2k - n)T].$$

Данное выражение соответствует условию беззатратного – в информационном смысле – восстановлению непрерывного одномерного материалопотокового сигнала из его дискретного распределения.

В тех случаях, когда модель процесса характеризуется передаточной функцией, имеющей вид рациональной функции с наличием нулей, следует прибегнуть к фрагментации модели на полюсо- и нульсодержащие части, при этом в полюсосодержащей части (в бездифференциальном фрагменте схемы) векторно-матричная модель системы мультидозирования может описываться как по Фробениусу, так и с помощью преобразования подобия с использованием реальных сигналов, регистрируемых измерительными преобразователями. Необходимость подобной процедуры возникает при анализе процессов дозирования, когда один или несколько дозаторов работают в порционном (дискретном) режиме, причем, описание сигналов материалопотоковых расходов выполняется на основе Фурье-моделей.

Отметим, что при использовании модальных регуляторов с виртуальными датчиками (наблюдателями состояния) в системах, для которых формируются векторно-матричные модели на основе развернутых структурных схем, расчеты матрицы обратной связи по вектору переменных состояния и матрицы наблюдателя производятся по соответствующим формулам Аккермана[1].

Использование результатов текущего мониторинга материалопотоковых сигналов с синхронной визуализацией их в виде время-частотных распределений (время-частотных карт подконтрольных процессов) позволяет эффективно управлять и контролировать на диспетчерском уровне процессы, протекающие в отдельных фрагментах смесеприготовительного агрегата, а формирование оптимального закона управления в формате время-частотных распределений, регистрируемых в вейвлет-среде и используемых вместо одномерных ПС, способствует улучшению качества переходных процессов в подсистемах мультидозирования, перемещения ингредиентных субстанций внутри производственного пространства и смесительного устройства при перестройке их режимов работы.

В качестве примера текущей регистрации (осуществляемой синхронно с функцией управления) материальных потоков в блоке мультидозирования смесительного агрегата на рис.1 представлено отображение установившегося процесса дозирования в виде распределе-

ний Вигнера на выходе блока дозаторов. Последний состоит из одного порционного, двух спиральных, работающих непрерывно, с рабочими частотами 0,20Гц, 3,23Гц и 4,02Гц и спирального дозатора, функционирующего дискретно во времени с центральной частотой заполнения спектра 6,89Гц и частотой формирования доз 0,077Гц. Таким образом, реализация совместной с процессом управления процедуры синхронного мониторинга процессов дозирования в вейвлет-среде делает систему автоматического управления эффективной, а с точки зрения пользователя – более информативной в отношении семантики протекающих в агрегате процессов.

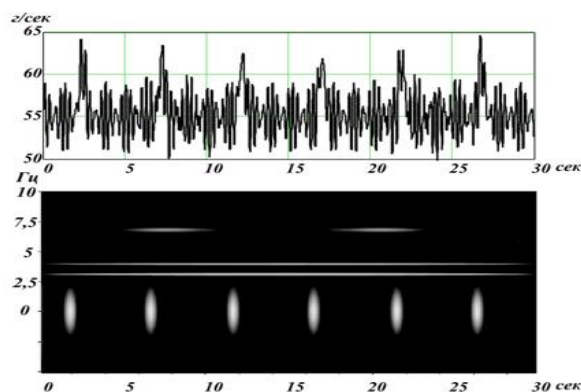


Рисунок 1 - Отображение установившегося процесса дозирования в виде распределений Вигнера на выходе блока дозаторов

Библиографический список

1. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учебное пособие / Д.П. Ким. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.
2. Cohen, L. Time-frequency Analysis / L. Cohen. - Englewood's Cliffs: Prentice Hall, 1995.
3. Daubechies, I. Ten lectures on wavelets / I. Daubechies. – CBMS-NSF; Regional conference series in applied mathematics. – SIAM, PA, 1992.
4. Choi, H. I. Improved time-frequency representation of multicomponent signals using exponential kernels / H. I. Choi and W. J. Williams // IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc. – 1989. – Vol. 37, № 6. – P. 862-871.
5. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов и др.; Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2003. – 567 с.
6. 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.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ЭНЕРГОЕМКИМИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Спирин Н.А.¹, Лавров В.В.¹, Павлов А.В.², Полинов А.А.², Онорин О.П.¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

² ПАО «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 и АСУ ТП, в основу которых положены методы математического моделирования. Роль

алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области металлургии SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – буквально, сбор данных и диспетчерское управление) и 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. 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. При этом важно обеспечить высокий уровень их интеграции с существующими производственными и корпоративными системами [1].

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 [2].

Цель исследований заключалась в создании научных основ разработки автоматизированных систем анализа и прогнозирования производственных ситуаций в сложных энергонасыщенных агрегатах и их комплексах в пирометаллургии (на примере аглодоменного производства, нагревательных и термических печей), включающих в себя: основные принципы построения таких систем в современных условиях; функциональное моделирование процессов; разработку алгоритмического и программного обеспечения, создание модельных систем поддержки принятия решений комплекса технологических задач.

Методы исследований базировались: на структурном анализе; физико-химических закономерностях основных процессов, протекающих в доменной печи; обобщении отечественного и зарубежного опыта создания автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами; использовании методов математического моделирования, современных принципов разработки алгоритмического и программного обеспечений, предназначенных для автоматизированного управления сложными технологическими процессами и их комплексами в металлургии.

Разработанная балансовая модель доменного процесса в общем виде представляет собой систему детерминированных зависимостей, характеризующих тепловой, восстановительный и газодинамический режимы доменной плавки. Принятая при описании концепция опорно-возмущенного движения позволяет решать как задачи статики, так и задачи динамики с применением относительно простого математического аппарата, но с использованием физической сущности процессов, протекающих в доменной печи [3, 4].

Авторами на примере доменного производства крупнейшего металлургического предприятия России – ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) рассмотрены и реализованы принципы построения и архитектура автоматизированной системы управления доменной плавкой. Представлены структурная схема комплекса программно-технических средств и схема интеграции системы управления доменной плавкой в корпоративную систему предприятия. Разработанная система образует единое информационно-технологическое и управляющее пространство, тесно связана с другими информационными системами, в первую очередь с теми, от которых зависит качество выплавляемого чугуна: цеха подготовки агломерационной шихты, агломерационного цеха, коксохимического производства, кислородно-конвертерного цеха, железнодорожного транспорта, кислородно-компрессорного производства и др. [5–9].

Современный подход к разработке и сопровождению информационных систем на предприятии предполагает использование CASE (Computer Aided Software Engineering)-технологии. Такой подход позволяет создавать сквозную информационную систему металлургического производства, обеспечивающую контроль и оперативное управление технологическим процессом на всех этапах его этапах. Возможность вносить изменения непосредственно в логическую структуру базы данных и тем самым оперативно учитывать вновь возникающие информационные потребности пользователей придает построенной таким обра-

зом системе значительную гибкость и обеспечивает легкость при организации взаимодействия с другими информационными системами. Авторы имеют опыт использования такого подхода при разработке информационной системы аглодоменного производства ПАО «ММК». Сегодня автоматизированная информационная система доменного цеха ПАО «ММК» тесно связана с другими информационными системами комбината, в первую очередь с теми, от которых зависит качество выплавляемого чугуна: цеха подготовки агломерационной шихты, агломерационного цеха, коксохимического производства, кислородно-конвертерного цеха, железнодорожного транспорта, кислородно-компрессорного производства и др. Открываются также возможности и по интеграции информационной системы доменного цеха в единую корпоративную систему управления комбинатом, главным образом по линии управления технологии, планирования, управления затратами, слияния оперативного и бухгалтерского учета.

Наряду с развитием методов структурного и логического проектирования информационных систем, средств сбора сигналов с технологических объектов совершенствуются также методы накопления, хранения, обработки и представления технологической информации, основанные на распределенной системе баз данных со сложной логической структурой. Такой подход к организации данных позволяет создавать сложные автоматизированные информационные системы, которые используются как для управления отдельными технологическими процессами, так и металлургическим производством в целом. В частности, идеология организации системы баз данных положена в основу автоматизированной информационной системы аглодоменного производства ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [4, 5]. Основными преимуществами использования технологии системы баз данных являются:

- комплексное информационное обеспечение аглодоменного производства, т.е. накопление, хранение и представление технологической информации на всех этапах производственного цикла от складирования сырья в цехе подготовки агломерационной шихты до выплавки чугуна в доменных печах;

- возможность реализации математических моделей для управления технологическими процессами, т.е. использование накопленных данных для получения и представления новой информации о ходе технологического процесса.

Задачи, решаемые в области управления технологическим режимом доменной плавки, относятся к классу плохо структурированных задач, поэтому осуществление управления технологией даже при высоком уровне компьютеризации и математического моделирования без участия человека невозможно. В связи с этим перспективным является использование информационных технологий поддержки принятия решений. В системах поддержки принятия решений, основой которых составляет целый комплекс (база) математических моделей, решающих различные задачи, пользователь при этом имеет возможность получить недостающую ему информацию для принятия решения путем установления диалога с математической моделью. В информационных системах широко внедряются модели самых разных классов и видов (математические модели технологических процессов, модели управления, данных, знаний, передачи информации и т.д.), осуществляется диалог промышленного персонала (лица принимающего решение) с информационной средой. Современная автоматизированная информационная система в общем случае осуществляет ряд операций: сбор, первичную обработку и оценку достоверности информации, преобразование, передачу и хранение информации и т.д., и в конечном итоге оказывает лицу, принимающему решение, различные виды поддержки: информационную и модельную.

Математическое моделирование технологических процессов основано на:

- способах исследований, базирующихся на использовании теплофизических закономерностей основных процессов, протекающих в высокотемпературных печах, положений теории тепло- и массообмена, гидродинамики, механики движения материалов. Эти способы позволяют оценивать влияние на показатели работы печей параметров плавки, конструктивных размеров печи, режимных параметров, свойств обрабатываемых материалов (восстановимость, степень металлизации железорудных материалов и т.п.) и топлива (состав, реакци-

онная способность кокса и т.п.), определять общие закономерности динамических характеристик печи по различным каналам воздействий, рассчитывать в объеме агрегата поля температур и состава газообразных, жидких и твердых фаз и т.д. [1–3, 10];

– методе натурно-математического моделирования. В силу невозможности создания в настоящее время полной математической модели явлений доменного процесса наиболее пригодным для решения задач анализа показателей работы печи в реальном времени оказался метод натурно-математического моделирования, разработанный научной школой Сибирского государственного индустриального университета. При использовании этого метода сердцевиной модели являются натурные (реальные объекты) в их тесном сопряжении с математическими моделями, описывающими отдельные стороны процесса. Этот метод предусматривает выделение моделей двух уровней: базового состояния и прогнозирующей. Модель базового состояния оценивает вектор показателей состояния системы и используется для расчета коэффициентов настройки (адаптации) прогнозирующей модели. Прогнозирующая модель оценивает проектные показатели доменного процесса при изменении условий плавки относительно текущего состояния [11];

– формализации опыта технологического персонала (логические методы анализа состояния агрегата и прогноза технологических ситуаций, моделирование знаний инженерно-технологического персонала, экспертные системы). При разработке сложных систем в металлургии, таких как доменный процесс, часто возникают проблемы, связанные с недостаточной изученностью и сложностью протекания некоторых процессов, что значительно затрудняет разработку аналитических моделей. Наряду с математическими моделями в качестве дополнительных подходов к решению задачи определения и прогноза состояния доменного процесса применяются методы, основанные на логических методах и моделировании знаний технологического персонала [1, 12];

– современных методах и средствах разработки программного обеспечения информационно-моделирующих систем для решения технологических задач в металлургии. В основу метода, используемого при создании функциональной модели положены идеи и нотации методики структурного анализа и проектирования IDEF0 (Integrated Definition Function Modeling, функциональное моделирование) [13]. Использование этой методики позволило создать функциональную структуру программного комплекса, выявить производимые им действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции. Алгоритмическое обеспечение подсистем выполняется на основе: инфологического моделирования базы данных серверной части системы в виде набора взаимосвязанных ER-диаграмм (диаграмм «сущность–связь») с использованием CASE-средств (Computer-Aided Software Engineering) проектирования [14]; принципов структурного системного анализа информатизации процедурно-ориентированного подхода в виде диаграмм потоков данных (Data Flow Diagram, DFD) [15], что позволило реализовать клиентское программное обеспечение следующих подсистем:

- визуализации среднесменных и среднесуточных данных о работе доменных печей;
- формирования технического отчёта о работе доменных печей и цеха; сопоставления отчётных показателей работы доменных печей и цеха;
- модельной поддержки принятия решений;
- диагностики работы доменных печей и прогнозирования технологических ситуаций; визуализации показателей работы доменных печей для OLAP;
- математическом моделировании процессов тепломассопереноса и газодинамики с использованием специализированных пакетов ANSYS, FlowVision.

Авторами разработан и внедрен в промышленности комплекс математических моделей и пакетов прикладных программ, который позволяет решать ряд задач в области аглодоменного производства, в частности [4–9]:

- интегрированный пакет «Автоматизированное рабочее место газовщика доменной печи»;
- интегрированный пакет «Автоматизированное рабочее место мастера доменной печи»;

- интегрированный пакет инженерно-технологического персонала «Диагностика работы доменных печей и цеха и прогнозирование возможных технологических ситуаций», предусматривающий:
 - выбор оптимального состава железорудного сырья и флюсов в аглодоменном производстве при изменении конъюнктуры рынка железорудного сырья;
 - оптимальное управление топливно-энергетическими ресурсами в сложных энергонасыщенных комплексах (на примере доменного цеха);
 - моделирование шлакового режима доменной плавки;
 - моделирование теплового и газодинамического режимов;
 - системы отображения отчётных показателей доменного производства в корпоративной сети предприятия;
- интегрированный пакет «Оценка текущего состояния и прогнозирование работы доменной печи в реальном времени»;
- интегрированный пакет программ «Задувка доменной печи, пуск агрегата после кратковременных и длительных остановок»;
- интегрированный пакет программ «Логико-динамическая модель доменной плавки для управления агрегатом в реальном времени».

Перспективным направлением является использование новых информационных технологий для диагностики состояния технологических агрегатов. Авторами предложен ряд новых информационных систем для аглодоменного производства, в основу которых положены инструментально-расчетный подход и математическое моделирование теплофизических процессов. Методы прошли опытно-промышленные испытания в разное время на ПАО «ММК», защищены рядом патентов России: система прогноза температурных полей шихты и газа по данным локальных измерений этих параметров; система контроля температуры материала и газа (или их разности) в слое шихты непосредственно в доменной печи; новая информационная система диагностики состояния футеровки доменных печей; методы контроля процессов теплообмена в фурменном очаге доменной печи и комплекс других систем [3, 16–18].

Таким образом, в результате выполнения работы созданы научные основы разработки автоматизированных систем анализа и прогнозирования производственных ситуаций в сложных энергонасыщенных агрегатах и их комплексах в пирометаллургии, включающих в себя: основные принципы построения таких систем в современных условиях; функциональное моделирование процессов; разработку алгоритмического и программного обеспечения, создание модельных систем поддержки принятия решений для решения комплекса технологических задач. Результаты эксплуатации информационно-моделирующей системы позволили повысить оперативность и качество анализа, прогнозирования и планирования технологических ситуаций в металлургии, что обеспечило повышение эффективности принятия решений инженерно-техническим персоналом в условиях нестабильности состава и качества проплавленного железорудного сырья, решать задачи оптимального управления топливно-энергетическими ресурсами при изменении конъюнктуры рынка сырья и топлива.

Библиографический список

1. Спирин Н.А. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
2. Онорин О.П. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
3. Спирин Н.А. Теплообмен и повышение эффективности доменной плавки / Н.А. Спирин, Ю.Н. Овчинников, В.С. Швыдкий [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ, 1995. – 243 с.
4. Спирин Н.А. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
5. Спирин Н.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ

ТП / Н.А. Спирина, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.

6. Spirin N.A., Gileva L.Y., Lavrov V.V. Information modeling system for blast furnace control. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Proc. 19th International Scientific Conference on Metallurgy: Technologies, Innovation, Quality, Metallurgy 2015]. Novokuznetsk, 2016, V. 150, I. 1.

7. Spirin N.A., Lavrov V.V., Kosachenko I.E., Onorin O.P., Istomin A.S., Burykin A.A., Shchipanov K.A. Software for the raw-materials management system in blast-furnace smelting. Metallurgist, 2015, V. 59, I. 1, pp. 104-112.

8. Lavrov V.V., Spirin N.A., Burykin A.A., Shchipanov K.A., Rybolovlev V.Y. Automatic control software for the blast-furnace shop. Steel in Translation, 2015, V. 45, I. 9, pp. 669-673.

9. Lavrov V.V., Spirin, N.A. Automated information system for analysis and prediction of production situations in blast furnace plant. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Proc. 19th International Scientific Conference on Metallurgy: Technologies, Innovation, Quality, Metallurgy 2015]. Novokuznetsk, 2016, V. 150, I. 1.

10. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии / В.П.Цымбал. – Кемерово; М.: Изд. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.

11. Емельянов С.В. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев [и др.]. – Кемерово; М.: Изд. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.

12. Кулаков С.М. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 223 с.

13. Методология функционального моделирования IDEF0. Госстандарт России. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000. – 75 с.

14. Дубейковский В. И. Эффективное моделирование с СА ERwin Process Modeler (BPwin; AllFusion Process Modeler). – М.: Диалог–МИФИ, 2009. – 384 с.

15. Одинцов И. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ–Петербург, 2004. – 624 с.

16. Спирина Н.А. Введение в системный анализ теплофизических процессов металлургии / Н.А. Спирина, В.С. Швыдкий, В.И. Лобанов [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ, 1999. – 205 с.

17. Спирина Н.А. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спирина, В.В. Лавров, С.И. Паршаков [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. – 307 с.

18. Швыдкий В.С. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса: учебник для вузов / В.С. Швыдкий, Н.А. Спирина, М.Г. Ладыгичев [и др.]. – М.: Интернет-Инжиниринг, 1999. – 520 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАЦИИ, ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Добронец Б.С., Попова О.А

*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

Введение

В настоящее время актуализировалась проблема разработки новых подходов к процедурам предобработки данных в задачах численного моделирования по эмпирическим данным. Для этого существует ряд причин, среди которых важное место занимает проблема повышения точности результатов численного моделирования с учетом всех особенностей эмпирической информации, которой располагает исследователь.

В статье в рамках агрегации данных мы рассматриваем проблему изучения внутренней структуры данных. Заметим, что выбор математической модели представления данных и метода агрегации является важной задачей, поскольку их необоснованный выбор может внести дополнительную неопределенность, которой нет в исходной задаче.

Отметим, что во многих практических задачах исследование эмпирических данных связано с построением функции распределения, которая для многих задач интерпретируется как частотное распределение переменной. С этой целью обычно применяют гистограмму. Кроме гистограмм в качестве моделей данных полезно рассмотреть полиграммы, частотные полигоны и сплайны. Применение кусочно-полиномиальных моделей делает возможным их использования на основе понятия функции плотности вероятности (ФПВ).

С целью продвижения идей разработки численных операций над математическими моделями данных был разработан численный вероятностный анализ (ЧВА) [2]. Отличительной особенностью ЧВА является наличие развитых арифметических операций над функциями плотности вероятности, для которых вводится понятие ФПВ-значные переменные. В рамках ЧВА имеется возможность вычисления функций от случайных аргументов с использованием процедур построения вероятностных расширений. В рамках ЧВА решаются различные задачи численного анализа, в том числе задачи интерполяции, аппроксимации и оптимизации [4,5,6].

В частности в работе [7] рассмотрена проблема гарантированных оценок надежности технических систем в условиях малых выборок, в работе [5] рассмотрены вопросы оптимизации выработки электроэнергии ГЭС в условиях стохастической неопределенности, при этом управляющее решение представлено в виде совместных плотностей вероятности.

В работе [12] рассматривается задача интерпретации космических снимков по данным дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) на основе численных методов представления, моделирования и анализа информации при наблюдении за объектом исследования с учетом неопределенности. Для ее решения предложено использовать подход, основанный на том, что космический снимок есть информационная модель состояния объекта, функционирующего под воздействием разнообразных физических процессов во времени и пространстве в условиях различных неопределенных факторов. Для повышения качества анализа космических снимков, полученных в результате дистанционного наблюдения за объектом исследования, использованы специальные численные методы представления, обработки и моделирования данных.

Важно отметить, что для представления данных, когда не существуют частотные распределения, в рамках ЧВА используются гистограммы второго порядка и гистограммные функции распределения (hP-box) [2,8,9].

1. Надежные оценки точности агрегации

В тех случаях, когда данные можно интерпретировать как частотные распределения, для агрегирования целесообразно использовать методы построения функции плотности вероятности.

Для оценки функции плотности вероятности часто используются непараметрические методы. Отметим, что вплоть до середины 50-х годов в качестве единственного подхода для построения непараметрической оценки функция плотности вероятности использовалась гистограмма. Первые важные результаты в области применения ядерных оценок для функции плотности вероятности были получены в работах М. Розенблатта, Э. Парзена и Н. Ченцова.

В общем виде ядерная оценка может быть записана в виде [15]

$$\hat{f}^h(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x - \xi_i}{h}\right) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K_h(x - \xi_i),$$

где $K_h(t) = K(t/h)/h$.

Определим $f^h(x)$

$$f^h(x) = M[\hat{f}^h(x)] = f(x) + \sigma^2 h^2 f''(x)/2 + O(h^4). \quad (1)$$

и $f^{2h}(x)$

$$f^{2h}(x) = M[\hat{f}^{2h}(x)] = f(x) + 4\sigma^2 h^2 f''(x)/2 + O(h^4). \quad (2)$$

Применим экстраполяцию Ричардсона [11] к $f^h(x)$ и $f^{2h}(x)$. Для этого умножим (1) на $1/4$ и вычтем результат из (2). Исключая $\sigma^2 h^2 f''(x)/2$ из (1) и (2), мы получим [11]

$$f(x) = \frac{4}{3} f^h(x) - \frac{1}{3} f^{2h}(x) + O(h^4).$$

Заметим, что мы построили приближение к функции $f(x)$

$$f_{cor}^h(x) = \frac{4}{3} \hat{f}^h(x) - \frac{1}{3} \hat{f}^{2h}(x). \quad (3)$$

с точностью $O(h^4)$.

С другой стороны, применяя правило Рунге, мы можем получить оценку [11]

$$f''(x) = 2(f^h(x) - f^{2h}(x))/(3\sigma h^2) + O(h^2)$$

или

$$\| \hat{f}'' \| = \frac{2}{3\sigma h^2} \| \hat{f}^h - \hat{f}^{2h} \| \quad (4)$$

Таким образом, построена апостериорная оценка на вторую производную функции плотности. Это позволяет получить оценку на точность построенных приближений.

Рассмотрим вопрос агрегирования данных с помощью сплайнов. Для этой цели построим сплайн s , аппроксимирующий функцию плотности $f(x)$, так чтобы выполнялась оценка

$$\| f - s \| \leq Ch^4.$$

Далее построим в области $[a, b]$ (носителя функции плотности вероятности $f(x)$) сетки $\omega_z = \{z_i = a + ih_z, i = 0, \dots, N_z\}$, $\omega_x = \{x_i = a + ih_x, i = 0, \dots, N_x\}$.

На сетке ω_z вычислим значения $f_i = \hat{f}(z_i)$. Сплайн s будем строить на сетке ω_x . Краевые условия выберем следующим образом $s(a) = 0, s'(a) = 0$ $s(b) = 0, s'(b) = 0$

$$\sum_{i=1}^{N_z} (s(z_i) - f_i)^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

В случае кубических сплайнов, как классических так, и эрмитовых, задача (5) сводится к решению пятидиагональной системы линейных алгебраических уравнений.

Для кубических сплайнов справедлива следующая оценка

$$\| f^v - s^v \| \leq Kh_x^{4-v} \| f^{(4)} \|, \quad (6)$$

где K - константа, не зависящая от h_x .

Задачу можно упростить, если вычислить в узлах сетки ω_x значения \hat{f}_i . Для этих целей будем использовать значения $\hat{f}_{cor}^h(z_i)$ и процедуры сглаживания. Например, для классических кубических сплайнов можно использовать метод скользящего среднего, метод взвешенной локальной регрессии, фильтр Савицкого-Голея. Следует стремиться, чтобы выполнялись оценки

$$| \hat{f}_i - f(x_i) | = O(h_x^4).$$

В этом случае построение сплайна сводится к решению трех диагональной системы

линейных алгебраических уравнений и будет выполнена оценка (6).

Рассмотрим вопрос построения численных арифметических операций над сплайн-агрегациями s_x, s_y . Будем интерпретировать их как функции плотности вероятности случайных величин x, y . Реализация арифметических операций над двумя случайными величинами x, y основана на работе с их совместной функцией плотности вероятности $p(x, y)$.

Известны аналитические формулы для определения функции плотности вероятности результатов арифметических действий над случайными величинами. Например, для нахождения плотности вероятности p_{x+y} суммы двух случайных величин $x + y$ используется соотношение [1]. В случае, когда случайные величины x, y являются независимыми и имеют плотности вероятности, представленные кубическими сплайнами, s_x, s_y . Совместную плотность вероятности можно представить в виде произведения $p(x, y) = s_x s_y$. Поскольку кубический сплайн на каждом отрезке сетки представляет кубический полином, то $p(x, y)$ будет кусочно-полиномиальной функцией шестой степени. Наиболее удобными в этом случае будут квадратуры Гаусса с четырьмя внутренними узлами, которые точны на полиномах седьмой степени.

В качестве примера, рассмотрим построение сплайна, аппроксимирующего p_{x+y} . Для этих целей в области носителя p_{x+y} построим сетку $\omega = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ и вычислим значения $f_i = p_{x_1+x_2}(x_i)$. Используя значения f_i и краевые условия $s'(x_0) = 0, s'(x_n) = 0$ на сетке ω построим кубический сплайн s . В этом случае справедлива оценка

$$\| p_{x_1+x_2}^{(\nu)} - s^{(\nu)} \| \leq Kh^{4-\nu} \| p_{x_1+x_2}^{(4)} \|, \nu = 1, 2, 3.$$

2. Регрессионное моделирование

Идея, преобразования эмпирических данных на основе применения математических моделей на этапе агрегации данных и последующего их использования в виде входных и выходных факторов для моделирования способствовало появлению особого вида переменных. Например, использование гистограммных моделей данных в виде входных переменных для регрессионного моделирования способствовало появлению нового понятия гистограммно-значные переменные, которые представляют собой особый вид переменных, где каждому такому объекту (признаку) соответствует распределение, которое может быть представлено в виде гистограммы. Такие переменные изучаются, например, в символьном анализе [13].

В последнее время наблюдается растущий интерес к моделированию и анализу интервально-значных и гистограммно-значных переменных [13]. Однако анализ публикаций по данной теме исследований показал, что существующие методы и подходы к регрессионному моделированию на гистограммно-значных переменных встречают ряд трудностей [14]. Например, для линейных моделей регрессии для этого типа данных отмечается, что ее параметры не могут быть отрицательными. Для определения параметров этой модели, необходимо решить квадратичную задачу оптимизации, при условии неотрицательности ограничений на неизвестных. Определенную проблему составляет задача выбора и вычисления меры погрешности между предсказанными и наблюдаемыми распределениями.

Избежать этих трудностей можно используя численные операции над функциями плотностей. Рассмотрим линейную модель

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i + \varepsilon,$$

где $X_i, i = 1, \dots, n$ — независимые предикторные переменные,

Y - зависимая переменная,

ε - ошибка.

По наблюдаемым значениям Y_j , $X_{i,j}$ после агрегации плотности Y , X_i представлены сплайнами: S_y , S_i . Неизвестные параметры a_0 , a_i , $i=1,2,\dots,n$ будем искать исходя из минимума функционала

$$\Phi(a_0, a_1, \dots, a_n) = \|S_y - (a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i)\|_2 \rightarrow \min.$$

В силу независимости X_i для вычисления функционала $\Phi(a_0, a_1, \dots, a_n)$ можно использовать численные операции над функциями плотности. Минимизацию функционала $\Phi(a_0, a_1, \dots, a_n)$ можно осуществлять методом наискорейшего спуска.

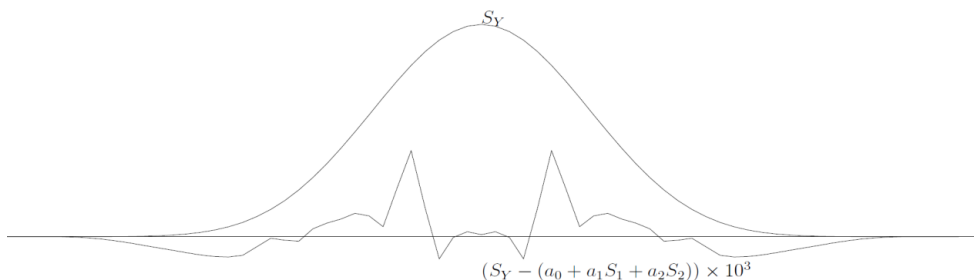


Рисунок 1 - Результат регрессионного моделирования

Численная реализация модельных примеров регрессивного моделирования показала хорошую сходимость предложенного подхода. В модельном примере при $n=2$ X_1 , X_2 генерировались как суммы трех равномерных на $[0,1]$ случайных величин, сдвинутых на 1 и 2 соответственно, ε с функцией плотности вероятности $(|2x|-1)^2(2|2x|+1)$ с носителем $[-0.5, 0.5]$ и $Y = X_1 + X_2 + \varepsilon$. Минимизация функционала $\Phi(a_0, a_1, a_2)$ осуществлялась методом наискорейшего спуска. При значениях $a_0 = -0.089$, $a_1 = 1.031$, $a_2 = 1.029$ величина $\Phi(a_0, a_1, a_2)$ не превысила значения $0.3 \cdot 10^{-3}$. На рисунке 1 приведен результат численного моделирования: сплайн S_y и величина ошибки умноженная на 10^3 .

Заключение

Преобразование данных на этапе агрегации данных представляет важное направление в анализе данных. Обоснованно подобранные модели данных на этапе агрегации позволяют определить вид входных переменных и осуществить выбор соответствующих процедур и арифметик для последующего моделирования.

В то время, как существует много способов агрегирования данных, включая простое среднее, использование кусочно-линейных и кусочно-полиномиальных функций агрегации предлагает более информативное представление об изменчивости данных, чем другие формы агрегирования данных. Такие процедуры агрегирования помогают сократить объем вычислений при обработке данных и являются важной основой для извлечения полезных знаний из больших объемов данных.

Использование регрессионного моделирования на основе кусочно-полиномиальных моделей открывает новые возможности в прогнозировании состояний сложных систем, дистанционного зондирования Земли, оценок надежности ответственного оборудования.

Библиографический список

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 1988. 448 с.
2. Добронетц Б.С., Попова О.А. Численный вероятностный анализ неопределённых данных. Красноярск: Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. 2014. — 168 с.
3. Dobronets B.S., Popova O.A. Numerical Probabilistic Analysis Under Aleatory and Epis-

temic Uncertainty // *Reliable Computing*. 2014. Т. 19. № 3. С. 274-289.

4. Попова О.А. Применение численного вероятностного анализа в задачах интерполяции // *Вычислительные технологии*. 2017. Т. 22. № 2. С. 99-114.

5. Попова О.А. Численный вероятностный анализ оптимизационных задач гидроэнергетики // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика*. 2015. Т. 12. С. 79-92.

6. Dobronets B., Popova O. Numerical Probabilistic Approach for Optimization Problems // *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. Т. 9553. С. 43-53.

7. Popova O.A. The application of numerical probabilistic analysis for the reliable estimate of the characteristics equipment responsible appointment // *2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 — Proceedings 2016*. С. 7491661.

8. Добронетц Б.С., Попова О.А. Представление и обработка неопределенности на основе гистограммных функций распределения и P-boxes // *Информатизация и связь*. 2014. № 2. С. 23-26. 6

9. Попова О.А. Гистограммы второго порядка для численного моделирования в задачах с информационной неопределенностью // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2014. № 6 (155). С. 6-14.

10. Попова О.А. Информационный подход к апостериорным оценкам погрешности численного моделирования // *Информатизация и связь*. 2016. № 2. С. 40-43.

11. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // *Journal of Siberian Federal University - Mathematics and Physics*, 2017. 10 (1), pp. 16-21.

12. Dobronets B.S., Popova O.A. The numerical probabilistic approach to the processing and presentation of remote monitoring data // *Journal of Siberian Federal University - Engineering and Technologies*. 2016. 9 (7), P. 960–971.

13. Billard, L., Diday, E. *Symbolic Data Analysis: Conceptual Statistics and Data Mining*. Wiley. 2006. — 325 с.

14. Dias, S. and Brito, P. Linear Regression Model with Histogram-Valued Variables // *Statistical Analysis and Data Mining*, 2013. 8 (2), pp. 75–113,

15. Scott R.W. *Multivariate density estimation: theory, practice, and visualization*. New York: John Wiley & Sons. 2015. — 381 с.

СИСТЕМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Грачев В.В.¹, Ивушкин К.А.², Мышляев Л.П.¹

¹*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия*

²*ООО ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия*

Необходимость стимулирования исполнителей работ при создании социально-экономических систем очевидна. От стимулирования исполнителей существенно количественно, а порой и качественно, зависят сроки выполнения отдельных операций проекта и в целом создание всей социально-экономической системы.

До девяностых годов прошлого века вопросам стимулирования в строительном производстве было посвящено много различной литературы и исследований [1-7]. В работах рассматривались как материальные, так и моральные формы стимулирования. В некоторых [1, 2, 5] приводилось лишь упоминание о необходимости стимулирования как средства совершенствования и ускорения строительного производства без конкретных методических рекомендаций. Другие же рассматривали практические способы стимулирования [3, 4, 7], делая упор, как правило, на исследования методов морального воздействия, например, социальных соревнований.

Однако переход к рыночной экономике, изменение участников строительного произ-

водства и предъявляемых к ним требований потребовал дополнительного изучения вопросов, связанных со стимулированием строительного производства как фактора его ускорения. В конце двадцатого века в рамках науки «Управление проектами» (раздела теории управления социально-экономическими системами) исследование механизмов стимулирования осуществляется в теории активных систем, в теории иерархических игр, в теории контрактов [8-14].

Наибольших результатов в разработке теоретических основ механизмов стимулирования в нашей стране достигнуто исследователями Института Проблем Управления РАН, г. Москва Бурковым В.Н., Новиковым Д.А., Цветковым А.В., Кочиевой Т.Б., Заложневым А.Ю. и др.

В работах [11, 15-16] выделены четыре базовые системы стимулирования: скачкообразные (С-тип), компенсаторные (К-тип), пропорциональные (L-тип), системы стимулирования, основанные на перераспределении дохода (D-тип).

Скачкообразные системы стимулирования $\delta_C(x, y)$ (С-типа) [15, с.48] характеризуются тем, что агент (исполнитель операций) получает постоянное вознаграждение (равное заранее установленному значению C) при условии, что выбранное им действие y не меньше заданного x , и нулевое вознаграждение – при выборе меньших действий (рисунок 1):

$$\delta_C(x, y) = \begin{cases} C, & y \geq x; \\ 0, & y < x. \end{cases} \quad (1)$$

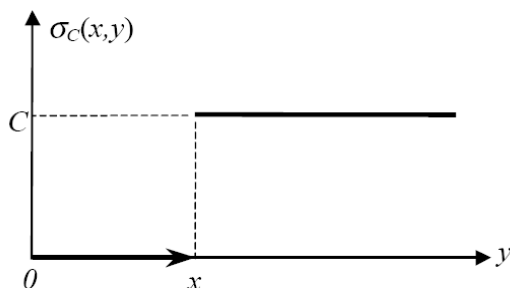


Рисунок 1 – Скачкообразная система стимулирования (С-тип)

Компенсаторная система стимулирования $\delta_K(x, y)$ (К-типа) характеризуется тем, что агенту компенсируют затраты при условии, что его действия лежат в определенном диапазоне, задаваемым, например, ограничениями на абсолютную величину индивидуального вознаграждения:

$$\delta_K(x, y) = \begin{cases} c(y), & y \leq x; \\ 0, & y > x; \end{cases} \quad (2)$$

где $x \leq c^{-1}(C)$, $c^{-1}(\cdot)$ – функция, обратная функции затрат агента, то есть центр может компенсировать агенту затраты при $y \leq x$ и не оплачивать выбор больших действий (рисунок 2).

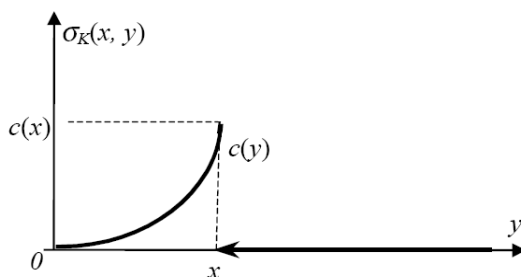


Рисунок 2 – Компенсаторная система стимулирования (К-тип)

Пропорциональные системы стимулирования $\delta_L(y)$ (L-типа). На практике широко распространены системы оплаты труда, основанные на использовании постоянных ставок оплаты: повременная оплата подразумевает существование ставки оплаты единицы рабочего времени (как правило, часа или дня), сдельная оплата – существование ставки оплаты за единицу продукции и т.д. Объединяет эти системы оплаты то, что вознаграждение агента прямо пропорционально его действию (количеству отработанных часов, объему выпущенной продукции и т.д.), а ставка оплаты $\alpha > 0$ является коэффициентом пропорциональности (рисунок 3):

$$\delta_L(y) = \alpha \cdot y. \quad (3)$$

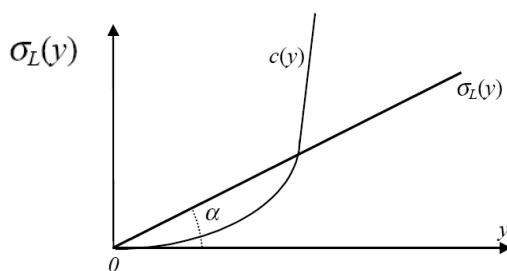


Рисунок 3 – Пропорциональная система стимулирования (L- тип)

Системы стимулирования, основанные на перераспределении дохода $\delta_D(y)$ (D-типа) используют следующую идею. Так как центр выражает интересы системы в целом, то можно условно идентифицировать его доход и доход от деятельности всей организационной системы. Поэтому возможно основывать стимулирование агента на величине дохода центра – положить вознаграждение агента равным определенной (например, постоянной) доле дохода центра:

$$\delta_D(y) = \xi \cdot H(y), \quad (4)$$

где $H(y)$ – функция дохода центра, $\xi \in [0; 1]$.

На основе рассмотренных четырех базовых систем стимулирования формируют производные от них системы, например CL-тип, QD-тип.

«Задача стимулирования заключается в том, чтобы выбрать оптимальную систему стимулирования, имеющую максимальную эффективность» [15, С.15]. Однако, рассматривая различные системы стимулирования, авторы работ не приводят методы, алгоритмы по определению оптимальной системы стимулирования. В работах [11, 15-16] исследователи задаются априори некоторыми системами стимулирования, «угадывают» их, прибегая к эвристическим процедурам, не оценивая формализовано эффективности структур стимулирующих функций. «Можно угадать оптимальную систему стимулирования, исходя из содержательных соображений, а затем корректно обосновать ее оптимальность» [15, С.21].

Рассматриваемые базовые системы стимулирования – С, К, L, D-тип, по нашему мнению, на практике не принесут должного результата. Например, подход со стимулированием по С-типу не побуждает агента – подрядчика завершить операцию за минимально возможное время T^{Min} . Агент, получив вознаграждение за достигнутое действие – выполнение операции за время $T > T^{Min}$, не будет в дальнейшем стремиться к сокращению времени выполнения операции. При стимулировании по К-типу функция затрат агента $c(y)$, как правило, неизвестна. Агенты могут различными способами исказить ее, добиваясь лишь получения максимальной величины вознаграждения без сокращения продолжительности выполнения операции до T^{Min} . Пропорциональные системы стимулирования – L-тип не обеспечивают выполнения закона убывающей отдачи [17]. Суть этого закона состоит в том, что каждый последующий день сокращения длительности операции требует большего стимулирования, чем предыдущий. При пропорциональных системах стимулирования такого увеличения финан-

сирования при сокращении продолжительности выполнения операций нет – на каждый день сокращения продолжительности выделяется фиксированная величина стимула.

Кроме этого в исследованиях Д.А. Новикова, В.Н. Буркова, В.А. Побожия [8, 11, 14-15] при рассмотрении структур функций стимулирования объектам не уделяется должного внимания, они как таковые не описываются. Используя игровой подход, авторы проводят анализ стимулирующих функций чисто аналитически, в абсолют, не используя ретроспективную информацию с предыдущих объектов. Такой подход, основываясь лишь на аналитических методах, требует построения и использования сложных моделей, привлечения громоздкого математического аппарата. Аналитические методы весьма разнообразны и в сильной степени зависят от исследуемой модели системы. Разнообразие этих методов вызвано, с одной стороны, желанием получить решение аналитическим путем, поскольку такое решение, как правило, дает более широкое представление о зависимости эффективности стимулирующих функций от параметров и условий, и, с другой стороны, математическими трудностями получения решений, которые в различных частных случаях преодолеваются своим путем. Характерно, что особенно для сложных систем применение только аналитических методов оказывается возможным лишь при существенных упрощениях. Таким образом, в случае применения аналитических методов можно получить, как правило, характеристики некоторой упрощенной модели системы.

Необходим поиск новых путей решения оценивания эффективности функций стимулирования с наиболее полным извлечением информации из уже имеющихся проектов. Это возможно при использовании метода натурно-математического моделирования [18-20].

С этих позиций постановка задачи в общем случае может быть представлена в следующем виде.

Дано.

1. Набор структур стимулирующих функций $St_{i,j}(T)$ для выполнения операций:

а) линейная функция

$$St_{1,j} = a \cdot T_j + b, \quad (5)$$

б) кусочно-линейная функция

$$St_{2,j} = \begin{cases} a_1 \cdot T_j + b_1, & \text{при } T_j^{\min} \leq T_j \leq T_{1,j}; \\ a_2 \cdot T_j + b_2, & \text{при } T_{1,j} \leq T_j \leq T_{2,j}; \\ a_3 \cdot T_j + b_3, & \text{при } T_{2,j} \leq T_j \leq T_j^H, \end{cases} \quad (6)$$

где $T_{1,j} = \frac{1}{3}(T_j^H - T_j^{\min})$, $T_{2,j} = \frac{2}{3}(T_j^H - T_j^{\min})$,

в) квадратичная функция

$$St_{3,j} = a \cdot T_j^2 + b \cdot T_j + c, \quad (7)$$

г) обратно пропорциональная функция

$$St_{4,j} = \frac{a}{T_j}, \quad (8)$$

где a, b, c – параметры функции,

T_j – длительность выполнения j -ой операции,

T_j^{\min} – минимальное время выполнения j -ой операции,

T_j^H – номинальное (в частности, фактическое) время выполнения j -ой операции.

2. Данные о фактически реализованных проектах, включающие

- сетевой график проектирования и строительства;
- номинальную стоимость C_j^H и номинальное время выполнения T_j^H операций;
- базовую структуру функции стимулирования $St_j^B(T)$, в частности константу, С-типа*;
- ограничения на длительность выполнения операций

$$T_j^{\min} \leq T_j \leq T_j^H; \quad (9)$$

- ограничения на величину стимулирования при выполнении операций

$$0 \leq St_j \leq St_j^{\max}, \quad (10)$$

где St_j^{\max} – максимально возможное стимулирование j -ой операции проекта;

– структура функции дохода от функционирования предприятия после его вывода на проектные показатели $V(t)$.

3. Процедуры пересчетного моделирования, включающие

- натурные данные о характеристиках выполненных проектов;
- пересчетные модели, позволяющие пересчитывать вариации исходных данных в изменение выходных целевых переменных;
- операции формирования модельных исходных и расчетных показателей.

4. Критерий эффективности выполнения проекта $Q(\Delta t)$, отражающий затраты и доход от создания технологического комплекса

$$Q(\Delta t) = V(\Delta t) - St(\Delta t), \quad (11)$$

где Δt – время изменения длительности выполнения проекта,

$V(\Delta t)$ – доход предприятия за время Δt ,

$St(\Delta t)$ – затраты на стимулирование по сокращению длительности проекта на Δt .

Требуется:

1. Разработать алгоритм определения эффективности стимулирующих функций.
2. Исследовать эффективность стимулирующих функций $St_{i,j}(T)$ из заданного набора по критерию $Q(\Delta t)$.

Для решения задачи по исследованию эффективности стимулирующих функций был разработан алгоритм, блок-схема которого приведена на рисунке 4.

Данный алгоритм позволяет определить оптимальную структуру стимулирующих функций с точки зрения критерия $Q(\Delta t)$.

Алгоритм определения эффективности стимулирующих функций состоит из трех укрупненных функциональных блоков: блока ввода исходных данных, блока имитационного пересчетного моделирования и блока расчета критерия и выбора наилучшей структуры стимулирующей функции.

Ниже приводится краткое описание каждого из этих трех укрупненных функциональных блоков алгоритма.

Блок 1. Ввод исходных данных.

Осуществляется ввод исходных данных, необходимых для работы алгоритма.

1. Ввод данных по реализованному проекту.

* Д.А. Новиков. Теория управления организационными системами, М.: Московский психолого-социальный институт, 2005

2. Задание структур стимулирующих функций $St_{i,j}(T)$, $i = \overline{1, m}$.

Исходные данные по реализованному проекту включают в себя:

- сетевой график проектирования и строительства;
- номинальную стоимость C_j^B , номинальное время выполнения T_j^B каждой операции;
- ограничения на длительность выполнения $T_j^{\min} \leq T_j \leq T_j^H$ и на стимулирование

$0 \leq St_j \leq St_j^{\max}$ каждой операции;

– структуру функции дохода от функционирования предприятия после его вывода на проектные показатели $V(t)$.

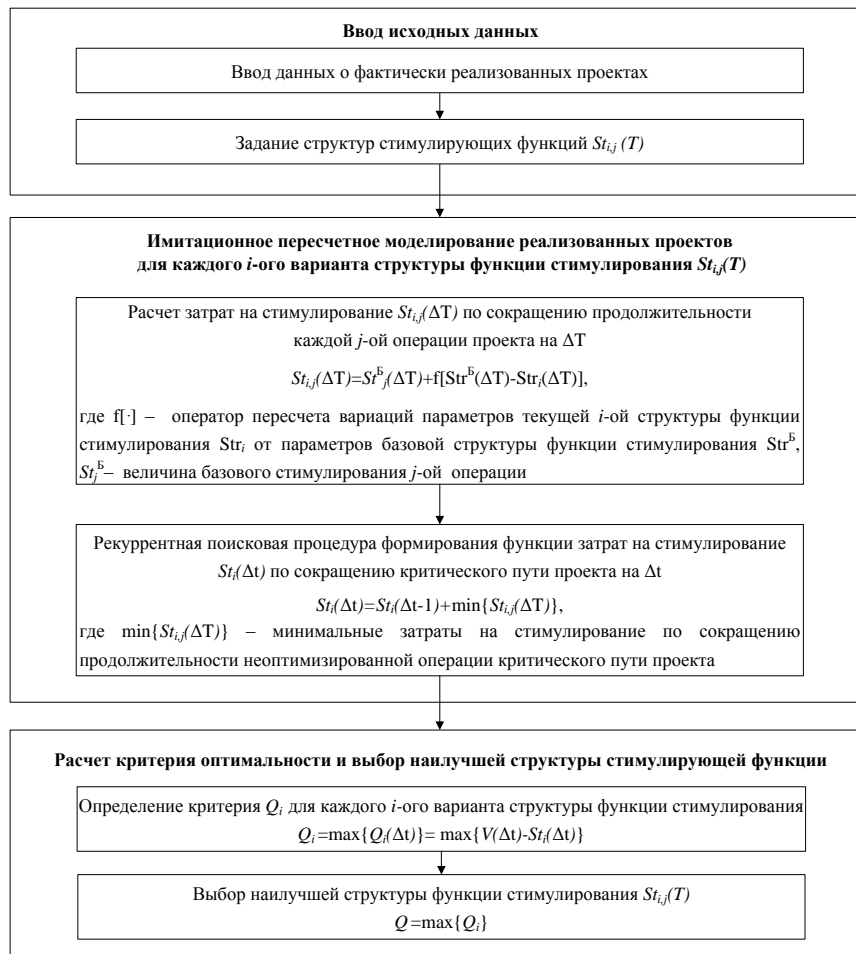


Рисунок 4 – Алгоритм определения эффективности стимулирующих функций

Набор структур стимулирующих функций $St_{i,j}(T)$ был сформирован из множества элементарных функций, удовлетворяющих закону убывающей отдачи и наиболее простых и содержательно понятных. В результате выбора в набор были включены следующие функции:

- линейная (5);
- кусочно-линейная (6);
- квадратичная (7);
- обратная пропорциональность (8).

Блок 2. Имитационное пересчетное моделирование реализованного проекта для каждого i-ого варианта структуры $St_{i,j}(T)$.

Последовательно рассматриваются структуры функции стимулирования из заданного набора.

Для каждой операции проекта рассчитываются затраты на стимулирование по сокращению длительности каждой j -ой операции на время ΔT

$$St_{i,j}(\Delta T) = St_j^B(\Delta T) + f[Str^B(\Delta T) - Str_i(\Delta T)], \quad (12)$$

где $f[\cdot]$ – оператор пересчета вариаций параметров текущей i -ой структуры функции стимулирования Str_i от параметров базовой структуры функции стимулирования Str^B , St_j^B – величина базового стимулирования j -ой операции.

После расчета $St_{i,j}(\Delta T)$ формируется множество Θ

$$\Theta^i = \{St_{i,j}(\Delta T)\}, j = \overline{1, n}, \Delta T = \overline{1, T_j^H - T_j^{\min}} \quad (13)$$

Далее с помощью поисковой процедуры, блок-схема которой представлена на рисунке 5, определяются затраты на стимулирование по сокращению критического пути проекта на величину Δt для каждого i -ого варианта структуры – $St_i(\Delta t)$.

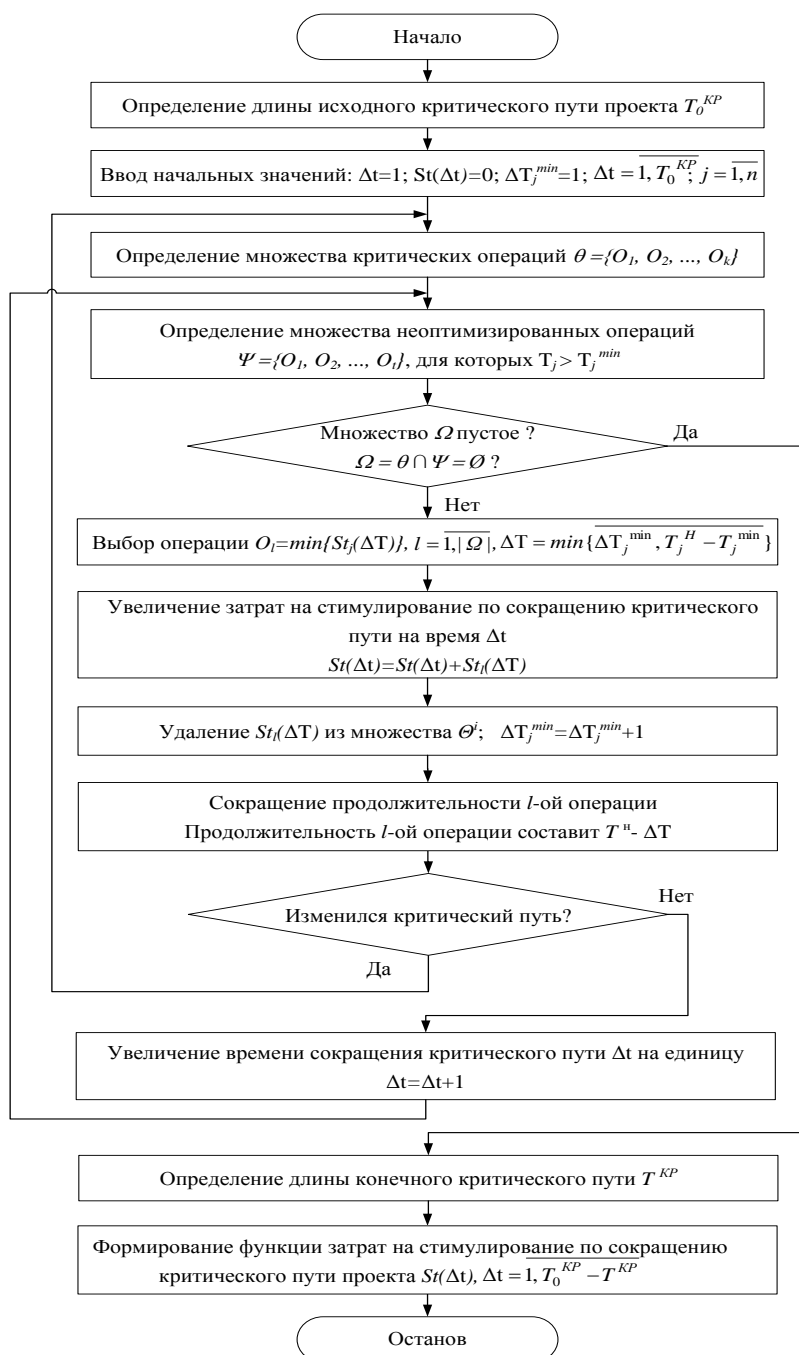


Рисунок 5 – Блок схема поисковой процедуры определения затрат на стимулирование по сокращению критического пути проекта

Сущность данной процедуры заключается в сопоставлении множества возможных вариантов по сокращению длительности критического пути проекта через сокращение продолжительности выполнения отдельных операций и выборе из них наилучшего.

На первом шаге для функционирования процедуры вводятся необходимые начальные значения переменных, определяется множество критических операций Θ и начальная длина критического пути T_0^{KP} . Далее из множества критических неоптимизированных операций Ω отыскивается операция O_l с минимальными затратами на стимулирование по сокращению ее продолжительности на время ΔT .

$$O_l = \min\{St_j(\Delta T)\}, l = \overline{1, |\Omega|}, \Delta T = \min\{\overline{\Delta T_j^{\min}, T_j^H - T_j^{\min}}\} \quad (14)$$

На следующем шаге на величину $St_l(\Delta T)$ увеличиваем затраты на стимулирование по сокращению критического пути на текущее время Δt

$$St(\Delta t) = St(\Delta t) + St_l(\Delta T). \quad (15)$$

После удаляем $St_l(\Delta T)$ из множества Θ и сокращаем продолжительность l -ой операции. После сокращения продолжительность l -ой операции составит $T^H - \Delta T$.

Проверяем, изменился ли критический путь.

Если критический путь проекта изменился, то описанная процедура повторяется, при этом затраты на стимулирование по сокращению критического пути на текущее время Δt будут постоянно увеличиваться на величину затрат по сокращению операций из Θ с минимальным $St_j(\Delta T)$.

Если критический путь проекта не изменился, то затраты на стимулирование по сокращению продолжительности критического пути проекта $St(\Delta t)$ на текущее время Δt зачисляются, текущее время увеличивается на единицу $\Delta t = \Delta t + 1$ и описанная поисковая процедура повторяется вновь. И так до тех пор, пока возможности по сокращению продолжительности операций множества Θ будут исчерпаны, то есть пока для всех критических работ не будет выполняться равенство $T_j = T_j^{\min}$.

В результате выполнения поисковой процедуры для каждой структуры из набора стимулирующих функций сформируется зависимость затрат на стимулирование по сокращению критического пути проекта $St(\Delta t)$, $\Delta t = \overline{1, T_0^{KP} - T^{KP}}$, где T_0^{KP} , T^{KP} – длина соответственно исходного и конечного критического пути проекта.

Блок 3. Расчет критерия оптимальности и выбор наилучшей структуры стимулирующей функции.

Для каждой из структур функции стимулирования $St_{i,j}(T)$ определяется критерий эффективности Q_i

$$Q_i = \max\{Q_i(\Delta t)\} = \max\{V(\Delta t) - St_i(\Delta t)\}. \quad (16)$$

На заключительном шаге из множества Q_i выбирается критерий с максимальным значением

$$Q = \max\{Q_i\}. \quad (17)$$

В результате наиболее эффективной будет считаться та i -ая структура стимулирующей функции, для которой выполняется условие

$$Q_i = Q. \quad (18)$$

Зная наилучшую структуру стимулирующей функции и наибольшее значение критерия оптимальности Q , отыскать оптимальное время сокращения критического пути проекта Δt^{opt} не составляет большой сложности: $\Delta t^{opt} = \Delta t$, при котором $Q = \max\{Q(\Delta t^{opt})\}$.

Программная реализация алгоритма осуществлена в среде Microsoft Project Professional и Microsoft Excel на скриптовом языке Visual Basic for Applications.

Натурные данные для количественных факторов были взяты из реализованного проекта углеобогатительной фабрики.

Результаты расчетов для выбранного набора стимулирующих функций представлены на рисунке 6, откуда следует вывод, что наилучшими являются квадратичная и кусочно-линейная функции стимулирования.

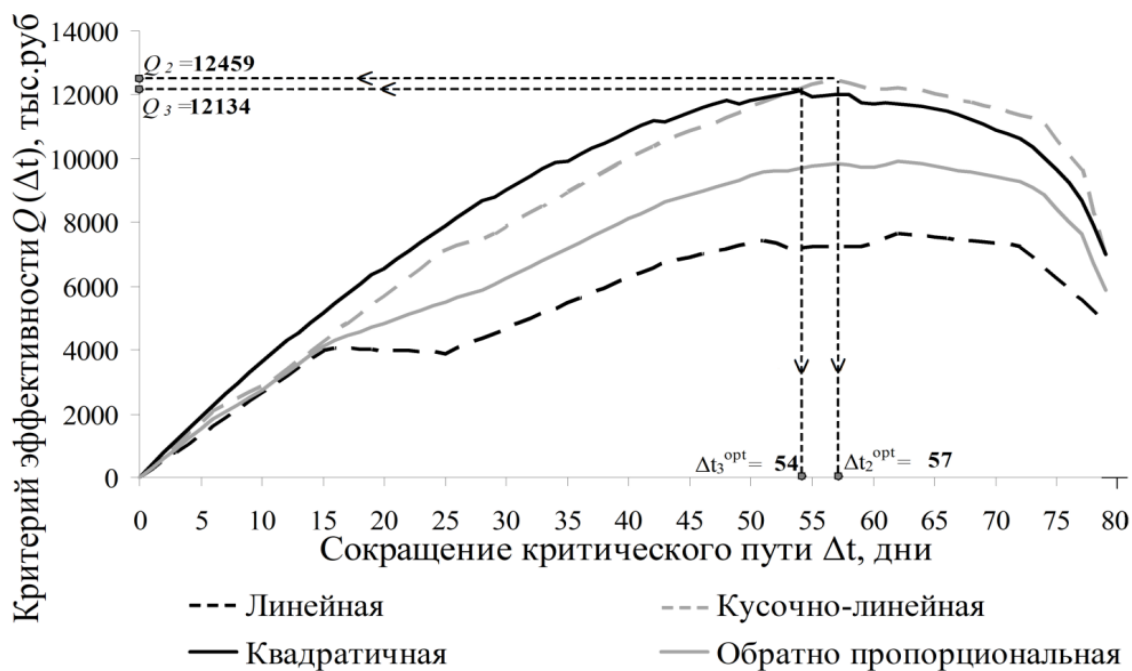


Рисунок 6 – Критерий эффективности при различных структурах функции стимулирования при суточном доходе предприятия 400 тыс. руб.

Для кусочно-линейной функции стимулирования для конкретной углеобогатительной фабрики получили оптимальное сокращение длительности Δt^{opt} на 57 дней при значении Q равном 12459,12 тыс. руб., а для квадратичной – $\Delta t^{opt} = 54$ дня, $Q = 12134,47$ тыс. руб.

При изменении суточных доходов предприятия квадратичная и кусочно-линейная функции стимулирования также остаются предпочтительными и превосходят другие функции стимулирования по критерию эффективности Q не менее чем на 50 %.

Использование процедуры пересчетного натурно-математического моделирования позволяет пересчитать величины стимулирования для операций проекта, при этом изменяется их длительность и длительность выполнения всего проекта. Сетевой график также динамически корректируется.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №15-07-01972.

Библиографический список

1. Организация, планирование и управление строительным производством: учебник / Под ред. И.Г. Галкина. – М.: Высшая школа, 1978 – 496 с.
2. Дикман Л.Г. Организация, планирование и управление строительным производством: учебник для строительных вузов и факультетов. – 2-е издание. – М.: Высшая школа, 1982. – 480 с.
3. О’Брайен Д. Применение метода критического пути в строительстве. / Д.О’Брайен.

- М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 168 с.
4. Рыбальский В.И. Автоматизированные системы управления производством. / В.И. Рыбальский. – Киев: Издательское объединение “Вища школа”, 1974. – 480 с.
 5. Комаров И.К. Совершенствование строительного производства. / И.К. Комаров. – М.: Стройиздат, 1979. – 208 с.
 6. Казанский Ю.Н. Опыт организации и управления строительными фирмами в США. / Ю.Н. Казанский. – М.: Стройиздат, 1985. – 269 с.
 7. Ушацкий С.А. Выбор оптимальных решений в управлении строительным производством. / С.А. Ушацкий. – Киев: Издательство “Будівельник”, 1974. – 168 с.
 8. Побожий В.А. Расчет и оптимизация сетевых графиков строительства. Учебное пособие для вузов / В.А. Побожий, С.И. Павленко, М.В. Побожия, В.В. Ткаченко. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2001. – 240 с.
 9. Бурков В.Н. Как управлять проектами. / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1997. – 188 с.
 10. Кочиева Т.Б. Базовые системы стимулирования. / Т.Б. Кочиева, Новиков Д.А. – М.: Апостроф, 2000. – 108 с.
 11. Новиков Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели). / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 1998. – 216 с.
 12. Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. / Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – М.: Апостроф, 2000. – 184 с.
 13. Цветков А.В. Стимулирование в управлении проектами. / А.В. Цветков М.: Апостроф, 2001. – 144 с.
 14. Бурков В.Н. Теория графов в управлении организационными системами. / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков – М.: Синтег, 2001. – 124 с.
 15. Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в организационных системах. / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 147 с.
 16. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. / Д.А. Новиков. – М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. – 584 с.
 17. Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Е.Б. Стародубцева, Л.Ш. Лозовский. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.
 18. Веников В.А. Теория подобия и моделирования: Учеб. пособие для вузов / В.А. Советов. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
 19. Натурно-математическое моделирование в системах управления: Учеб. пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов, С.Ф. Киселев. – Кемерово: КемГУ, 1987. – 84 с.
 20. Авдеев В.П. Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой / В.П. Авдеев, Б.А. Кустов, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: Кузбасский филиал Инж. Академии, 1992. – 188 с.

СЕКЦИЯ 1

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНОГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОГО ИНТЕРФЕЙСА И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Кизилов С.А.^{1,2}, Никитенко М.С.^{1,2}, Neogi В.³

¹ *Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Россия*

² *Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия*

² *CoE & CII Centre for Innovation, JIS College of Engineering (JIS Group India,
Kalyani, India*

В связи с исчерпанием легкодоступных и богатых месторождений горнодобывающего комплекса в России и за рубежом в настоящее время в разработку вовлекаются запасы, характеризующиеся сложными горно-геологическими условиями разработки – возрастает глубина, залегание отмечается в крутых и крутонаклонных пластах, характерна высокая газоносность угольных пластов.

Применяемое горнодобывающее оборудование и технологии разработки месторождений полезных ископаемых из мощных крутых и крутонаклонных пластов недостаточно эффективны и безопасны, и не обходятся без постоянного присутствия людей в очистных и подготовительных забоях, в виду сложности технологии добычи.

При этом ошибки в управлении или влияние человеческого фактора на качество управления более сложного технологического процесса, соответственно повышает риски возникновения аварийных ситуаций. В связи с чем, дальнейшее развитие горнодобывающей отрасли и совершенствование системы безопасности горных работ в решающей степени зависит уже не только от применения новых современных видов оборудования и технологий отработки. Немаловажным фактором является динамика и качество создания, а также глубина внедрения современных автоматизированных систем управления и диспетчеризации ведения горных работ.

Необходимость в повышении эффективности разработки трудноизвлекаемых полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и в шахтах опасных по газу и пыли создают потребность в переходе на отработку технологии «безлюдной» выемки полезных ископаемых автоматизированным и автоматическим оборудованием, доведённым до уровня роботизированных комплексов [1]. В связи с вышеизложенным, актуальным является не только разработка новых технических решений по отработке крутых и крутонаклонных пластовых месторождений [2], но и современных автоматизированных средств управления и диспетчеризации оборудованием горнодобывающего комплекса. Тем более, что разрабатываемые новые технологические схемы [3] и технические средства [4-9] позволяют сформировать основы концепции создания роботизированных комплексов для отработки и выемки пластовых месторождений полезных ископаемых (уголь, алмазосодержащая руда и т.д.) с системой управления, работающей с учетом, в том числе, состояния горного массива и его динамических проявлений.

Разделение причин аварийных ситуаций с влиянием человеческого фактора на три основные категории:

- случайная ошибка, невнимательность или ослабление контроля за ситуацией;
- низкая квалификация обслуживающего персонала;
- грубое нарушение техники безопасности, зачастую сочетающееся с первыми двумя,
- позволяет сделать вывод, что у современных систем диспетчеризации есть два серьезных недостатка: 1 – стационарное место оператора (подразумевается наличие приборов или мониторов с индикацией текущего состояния системы и фиксированное место располо-

жения органов управления); 2 – высокие требования к квалификации и физическому состоянию оператора.

В данном контексте технические средства на основе нейрокомпьютерного интерфейса Brain computer interface (BCI) являются весьма перспективными и актуальными для построения системы автоматизированного управления, совместно с оборудованием дополненной реальности.

В настоящее время авторами, совместно с иностранными коллегами из JIS Collage of Engineering, где специалистами уже ведется работа по исследованию базовых модулей системы управления на основе BCI [8, 9], производится проработка концепции организации мобильного места оператора и интеграции оборудования BCI и дополненной реальности в систему автоматизированного управления (АСУ). Кроме того возможно расширение методов управления за счет использования метода электромиографии (EMG).

Основная цель – организация работы диспетчера АСУ технологическими процессами подземной разработки месторождений полезных ископаемых в новом качестве, без постоянной привязки к рабочему месту со снижением вероятности совершения ошибки, потери визуального контакта с параметрами объекта управления, на основе виртуализации приборов управления и контроля.

Основная идея – совмещение технологий нейрокомпьютерного интерфейса, электромиографии и дополненной реальности для системы управления технологическими процессами подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Возможность вывода информации о состоянии комплекса непосредственно перед оператором с прорисовкой интерактивных элементов управления комплексом обеспечивается системами дополненной реальности, доступ к основным экстренным функциям управления происходит через систему адаптивного автоматизированного управления на основе технологии интерфейса управления BCI. Система на основе BCI позволяет получить практически мгновенный сигнал от оператора и выполнить заданное действие, что очень важно в экстренной ситуации. В данном случае оператору нет необходимости даже поднимать руку, имитируя нажатие «клавиши аварийной остановки», общая схема устройства мобильного рабочего места оператора очистного комплекса, показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общая схема устройства мобильного рабочего места оператора очистного комплекса

Применение мобильного рабочего места оператора позволяет решить ряд проблем связанных с безопасностью проведения работ в подземных выработках. Решаются такие проблемы, как утрата зрительного контакта на продолжительное время с индикаторами, выводящими информацию о состоянии работающего комплекса. Появляется возможность лучше обустроить эргономику рабочего места оператора и снизить его утомляемость. Оператор получает возможность производить управляющие манипуляции находясь в любой точке диспетчерской комнаты, а не только когда находится непосредственно у стационарного пульта.

Управление оборудованием в рамках предложенной концепции происходит посредством взаимодействия рук оператора с виртуальными клавишами, отображаемыми на дисплее гарнитуры дополненной реальности, движение рук отслеживается с помощью двух различных систем, данные с которых сравниваются и делается вывод о действии оператора.

Первая система – это стандартный способ для систем виртуальной и дополненной реальности, работающий на основе полученной информации с встроенных видеокамер и датчиков положения. Но для высокой точности работы подобная система требует присутствия на отслеживаемых частях тела маркеров, которые очень не удобны в повседневном использовании.

Вторая система основана на использовании методов электромиографии (EMG), система отслеживает импульсы, идущие к мышцам оператора, и переводит их в команды для управления техникой. Подобная система хотя и требует крепления датчиков на теле оператора, но они при правильной установке практически не ощущаются оператором. Общая схема взаимодействия модулей системы «Мобильное место оператора» схематично показано на рисунке 2.

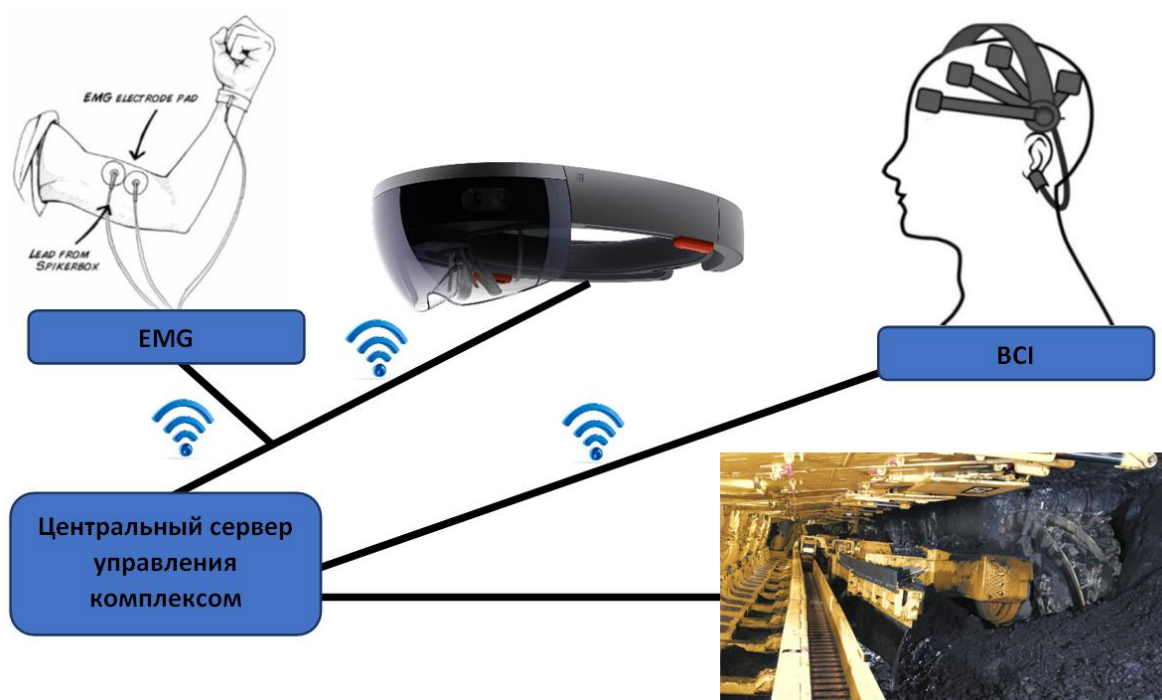


Рисунок 2 – Общая схема взаимодействия модулей системы «Мобильное место оператора»

Технические средства на основе нейрокомпьютерного интерфейса, позволяющие дополнительно ввести резервный канал управления от диспетчера или оператора (пользователя) оборудования сравнительно недавно вышли на рынок, (начиная с 2003 года Mindball (Interactive Productline), MindSet, MindWave (NeuroSky), Neural Impulse Actuator (OCZ Technology), EPOC и Emotiv Insight (Emotiv Systems), Mindflex (Mattel), XWave headset (PLX Devices), MyndPlay BrainBand (MyndPlay), OpenBCI (OpenBCI project), Muse (InteraXon) и т.д.) явля-

ются недостаточно исследованными и испытанными в реальных условиях в направлении применения на промышленных предприятиях для решения задач диспетчеризации. В то же время психофизиологическое состояние оператора имеет значительное влияние на качество и эффективность генерации управляющих воздействий. В связи с этим, безусловно, важными для решения в ближайшей перспективе являются следующие задачи:

1. Исследовать параметры сгенерированного сигнала оборудования на базе нейрокомпьютерного интерфейса, его достоверности, временной задержки, вероятности ошибки генерации управляющего воздействия.

2. Исследовать корректности генерации управляющего сигнала в зависимости от уровня владения оборудованием на основе нейрокомпьютерного интерфейса.

3. Исследовать зависимость психофизиологического состояния оператора на качество генерации управляющего сигнала, как совместно, так и без подключения подсистемы дополненной реальности.

4. Исследовать техническую возможность и качество взаимодействия гарнитур ВСИ с различными современными операционными системами, в т.ч. для мобильных устройств.

5. Исследовать возможность управления горношахтным оборудованием с персонального компьютера при подаче внешнего управляющего сигнала.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Разработка технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толици» (Уникальный идентификатор RFMEF160417X0173).

Библиографический список

1. Ермеков Т.Е., Несипбаев Ж.С., Сарсембаев Т.У. Научные основы создания роботизированных комплексов для горнодобывающей промышленности – Труды университета №1, 2001 с.46-47.

2. Малахов Ю.В. Стандартизация как инструмент развития технологий и инноваций в ТЭК. – Инновации в Топливо-энергетическом комплексе и машиностроении. Сборник трудов. Международной научно практической конференции. 18-21 апреля 2017г. стр. 62-68.

3. Клишин В.И. Обоснование технологий разработки мощных пологих и крутых угольных пластов с выпуском угля. – ГИАБ, отдельный выпуск №6, 2013. С.36-47.

4. Клишин В.И. Кокоулин Д.И. Крепь для отработки мощных крутых платов угля подэтажной выемкой. Патент на полезную модель. RU 1604472 U1 24.11.2015.

5. Садовец В.Ю., Кизилев С.А. Разработка технического устройства для проведения аварийно-спасательных работ на подземных объектах. – Технологии и материалы. № 3. 2016. С. 4-7.

6. Nikitenko M.S., Yu. V. Malakhov, B. Neogi, P. Chakraborty, D. Banerjee. Robotic complex for the development of thick steeply-inclined coal seams and ore deposits. IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. 84 (2017) 012002. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/84/1/012002>

7. Nikitenko M.S. Evaluation of elements loading in the metal structures of powered support units. IOP conference series: Earth and environmental science. Сер. "International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources" 2016. С. 012007. 10.1088/1755-1315/45/1/012007

8. Neogi B et al 2016 Cognitively Velocity Controlled Vehicle Patent IND File no. 201631017186 Indian Patent Journal no. 26/2016 http://www.ipindia.nic.in/writereaddata/Portal/IPO Journal/ 1_350_1/part1.pdf

9. Neogi B et al 2016 Thought Concentration Controlled Dexterous Prosthetic Arm for Handicapped. File no. 201631017174. Indian Patent Journal no. 26/2016. http://www.ipindia.nic.in/writereaddata/Portal/IPOJournal/1_350_1/part1.pdf

ИНФРАСТРУКТУРА WEB-ОРИЕНТИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Гурин И.А., Лавров В.В., Спирин Н.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Информационно-моделирующие системы на предприятии предназначены для решения технологических задач, направленных на анализ и прогнозирование показателей работы, что в конечном итоге, направленно на повышение технико-экономических показателей производства.

С одной стороны, большинство создаваемых автоматизированных информационных систем для работы инженерно-технологического персонала представляют собой приложения, написанные на высокоуровневых языках программирования (Java, Visual C#, Visual Basic или других языках разработки приложений для платформы Microsoft .NET Framework). С другой, функциональными расчетными компонентами таких систем являются программные модули, реализующие задачи математического программирования, системы алгебраических и дифференциальных уравнений, задачи математической физики. Например, в доменном производстве к таким задачам относятся: моделирование теплового, шлакового и газодинамического режимов работы доменных печей; оптимальный выбор состава доменной шихты; расчет зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов; прогнозирование технологических ситуаций; оптимизация распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей.

Такие задачи невозможно решить с помощью стандартного набора математических средств языков программирования общего назначения, поэтому разработка информационно-моделирующих систем осуществляется при взаимодействии с внешним программным обеспечением (ПО), например, программой для работы с электронными таблицами Microsoft Excel, пакетом прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB. Связь с внешними приложениями накладывает ограничения на выбор средств разработки.

Особенности интеграции разрабатываемого ПО с Microsoft Excel рассмотрены нами ранее [1, 2].

Создаваемые в MATLAB m-функции могут быть использованы разработчиком приложения двумя способами:

1. Компилируемая с помощью MATLAB Compiler SDK библиотека для языков программирования C/C++, Java, Python и платформы .NET. Необходимым условием работы создаваемых библиотек является установка свободно распространяемого исполняемого ядра MATLAB Runtime (MCR). Он позволяет запускать приложения, которые используют m-функции, без необходимости установки дорогостоящей копии MATLAB.

Применительно к объектно-ориентированным языкам программирования название проекта MATLAB Compiler определяет пространство имен. Проект состоит из классов, которые в свою очередь включают m-файлы. Каждый m-файл включает одну функцию, которая вызывается как метод соответствующего класса. Техническая реализация данного способа представлена в работе [3].

2. Распространение приложений на MATLAB Production Server. Данный способ доступен начиная с версии MATLAB R2012b, он предлагает наиболее эффективный способ разрабатывать масштабируемые приложения на уровне предприятия. Вызов функций MATLAB осуществляется через обращение к Web-серверу средствами RESPful API, либо через обращения к методам динамической библиотеки (расширения), доступной в C/C++, Java, Python и .NET Framework.

MATLAB Production Server может быть установлен либо на одной машине с приложением, либо на любой машине в локальной сети или сети Интернет. При этом на одной ма-

шине может быть установлено несколько экземпляров MATLAB Production Server, каждый из которых располагается на отдельном порту и привязан к определенной версии MATLAB Runtime.

Выполняемые на MATLAB Production Server функции распространяются через CTF-архивы. Эти архивы содержат зашифрованные m-функции, составляющие приложение и все другие m-функции MATLAB, от которых зависят основные m-функции [4, 5]. Архивы размещаются в папке *auto_deploy* сервера и при замене автоматически обновляются без перезагрузки сервера. На рисунке 1 представлена схема создания и работы приложений MATLAB Production Server.

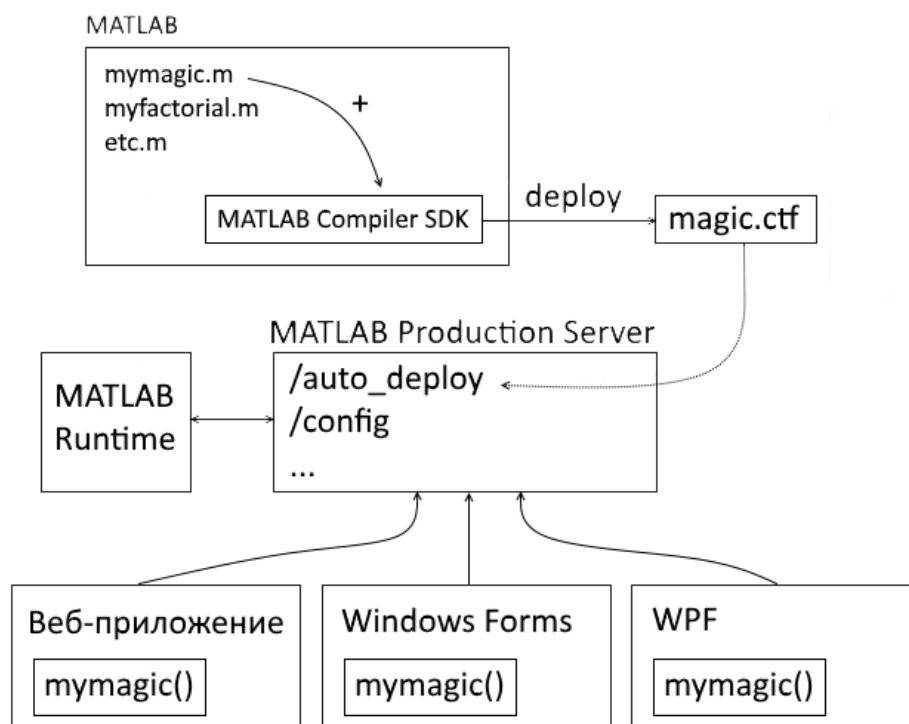


Рисунок 1 – Схема создания и работы приложений MATLAB Production Server

MATLAB Production Server имеет следующие преимущества в сравнении с первым способом интеграции:

- управление множеством программ и версий MATLAB Runtime;
- обновление CTF-архивов без остановки сервера;
- поддержка множества одновременно запускаемых приложений.

Рассмотрим интеграцию с языком программирования C# на примере получения магической матрицы, т.е. матрицы, заполненной различными числами таким образом, что сумма чисел в каждой строке, каждом столбце и на диагоналях одинакова.

Код m-функции:

```
function y = mymagic(x)
    y = magic(x);
end
```

Для отправки запросов и получения результатов от MATLAB Production Server используется пространство имен *MathWorks.MATLAB.ProductionServer.Client* в библиотеке *MathWorks.MATLAB.ProductionServer.Client.dll*. Для вызова соответствующих m-функций необходимо объявить интерфейс с аналогичными параметрами и именами методов.

```
public interface IMagic
{
    double[,] mymagic(int i);
}
```

```

MWClient client = new MWHttpClient();
IMagic a = client.CreateProxy<IMagic>(new Uri("http://127.0.0.1:9910/Magic"));
// Данный массив содержит элементы магической матрицы
double[,] b = a.mymagic(x);

```

Путь на сервере Magic указывает на название проекта развертывания и имя архива STF.

Анализ опыта решения математических задач с использованием пакетов Microsoft Excel и MATLAB позволяет отметить следующее:

- работа с файлом электронной таблицы осуществляется только при наличии установленной версии Microsoft Office, а вызов функций MATLAB осуществляется при наличии установленной версии свободно распространяемого исполняемого ядра MATLAB Runtime;

- использование внешних пакетов позволяет существенно сократить время разработки ПО за счёт использования реализованных в них алгоритмов и методов решения математических задач.

- использование Microsoft Excel позволяет значительно увеличить скорость создания автоматизированных информационно-моделирующих систем за счет использования при разработке и отладке математических моделей этого же пакета.

Стоит отметить, что решение задач в Microsoft Excel занимает значительно больше времени, чем при использовании MATLAB, что связано с открытием офисного пакета во время программной работы с листами электронной таблицы. В тоже время первый вызов функции MATLAB вносит существенную задержку, связанную с инициализацией MATLAB Runtime (таблица 1).

Таблица 1 – Скорость решения простейшей математической задачи в различных пакетах при первом и последующих вызовах

	Время выполнения первого вызова, с	Время выполнения второго и следующих вызовов, с
MATLAB Production Server	11,0	0,006
Библиотека MATLAB Compiler	11,0	0,003
Excel	3,2	3,2

Поэтому обычной практикой является, когда моделирование процессов в ПО осуществляется как с использованием Microsoft Excel, так и MATLAB.

Рассмотрим инфраструктуру автоматизированных информационно-моделирующих систем (рисунок 2). К современным информационным системам предприятия предъявляются требования, которые могут быть выполнены только при разработке веб-ориентированного программного обеспечения [6]. Так как серверные системы и клиентские места на большинстве предприятий работают на базе ПО Microsoft, то при разработке информационно-моделирующих веб-приложений зачастую используется фреймворк ASP.NET MVC, включенный в состав платформы .NET Framework, или ASP.NET Core MVC, включенный в состав .NET Core.

В такой системе в качестве клиента выступает любое устройство, имеющее браузер. На клиенте не требуется установка специализированного программного обеспечения. Программная платформа .NET Framework и пакет Microsoft Office установлены на сервере приложений. Обращения от клиентов обслуживает веб-сервер IIS. Исходные данные получаются из базы данных Microsoft SQL Server с помощью SQL-запросов, либо хранимых процедур.

Microsoft Excel используется при решении новых задач или совершенствовании алгоритмов, требующих тестирования и отладки. Тестирование осуществляется проверкой корректности результатов на выборке исходных данных за различные периоды работы.



Рисунок 2 – Инфраструктура информационно-моделирующей системы, построенной на базе ASP.NET Core MVC

Для решения сложных математических задач используется экземпляр MATLAB Production Server, который может находиться как на одной физической машине с сервером приложений, так и на разных. Так как MATLAB Production Server является лицензируемым продуктом, то вместо него зачастую используются MATLAB Runtime, устанавливаемый на сервере приложений, и скомпилированная в MATLAB Compiler библиотека.

Библиографический список

1. Решение задачи оптимизации в среде программирования Microsoft Visual Studio (C#) / И.А. Гурин, Н.А. Спириин, В.В. Лавров, М.А. Бякова // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практической конференции (17-19 декабря 2015 г.). Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2015. С. 41-45.
2. Решение оптимизационных задач на языке программирования Visual C# с использованием математических пакетов И.А. Гурин, Н.А. Спириин, В.В. Лавров, М.А. Бякова // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды IV Всероссийской научно-практической конференции (12–15 апреля 2016 г.). В 2 ч. Ч.1. Сиб. гос. индустр. ун-т.; под общей редакцией В.П. Цымбала, Т.В. Киселевой. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2016. С. 70-74.
3. Решение математических задач на языке Visual C# с использованием пакета MATLAB / И.А. Гурин, Н.А. Спириин, В.В. Лавров // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2016) с международным участием (12–13 мая 2016 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 190-194.
4. MATLAB. Программирование на C++, C#, Java и VBA / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 498 с.
5. MATLAB Production Server [Электронный ресурс] // The MathWorks, Inc.: [веб-сайт]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/matlab-production-server.html> (дата обращения 01.10.2017).
6. Веб-технологии построения автоматизированных информационно-моделирующих систем технологических процессов в металлургии / И.А. Гурин, В.В. Лавров, Н.А. Спириин, А.Г. Никитин // Известия вузов. Черная металлургия. 2017. Т. 60. №7. С. 573-579.

ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Мышляев Л.П.¹, Ляховец М.В.², Леонтьев И.А.³, Венгер К.Г.³, Саламатин А.С.²

¹ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

³ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия

На текущий момент только в Кемеровской области действует более 40 обогатительных фабрик разной производственной мощности. Некоторые из них имеют давнюю историю – они были запущены более полувека назад. Требование собственников по постоянному наращиванию производственных мощностей, а также стремительное развитие современных технологий обогащения приводят к необходимости проведения реконструкций технологических комплексов обогатительных фабрик (ОФ). Чаще всего при реконструкции технологических комплексов (ТК) решается вопрос о реконструкции или обновлении и автоматизированных систем управления.

При реконструкции систем автоматизации углеобогачительных фабрик необходимо учитывать ряд важных факторов, которые встречаются на практике. Игнорирование данных факторов приводит к увеличению затрат и сроков проведения реконструкции (рисунок 1).

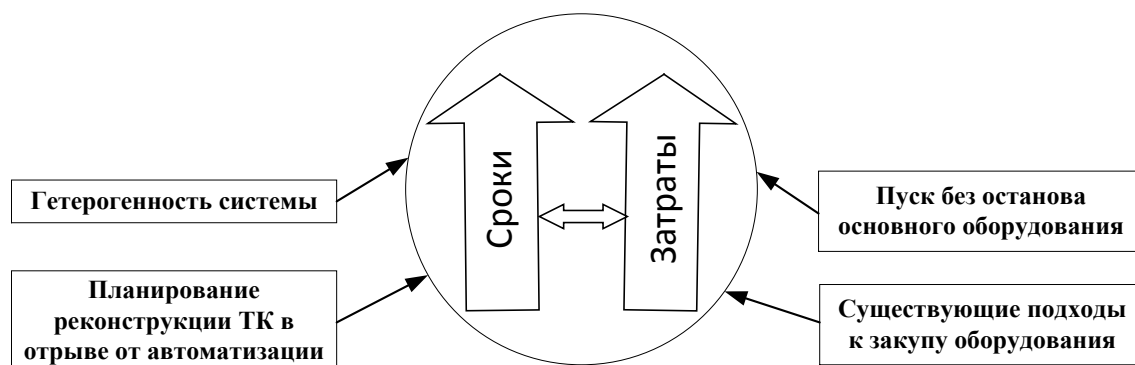


Рисунок – Факторы, возникающие при реконструкции ОФ

Гетерогенные системы. При проектировании новой ОФ и, в дальнейшем, при разработке проектов по реконструкции, часто при заказе крупного технологического оборудования (фильтр-прессов, отсадочных машин, флотомашин и др.) никаких требований к поставщикам оборудования в части систем локальной автоматики не предъявляется (зачастую опросные листы производителей и поставщиков вообще не содержат соответствующую информацию). В связи с этим производятся поставки без учета единой проектируемой информационной структуры предприятия. «Связывание» разнотипных систем локальной автоматики в единую структуру приводит к увеличению сроков запуска комплекса и увеличению затрат на обучение обслуживающего персонала и на содержание ЗИП в актуальном состоянии.

Планирование реконструкции ТК в отрыве от автоматизации. В сложившейся практике планирование реконструкции (модернизации) ТК производственного объекта осуществляется без учета сроков разработки проектных решений по автоматизации технологического комплекса. При этом отдельно вырабатываются требования на технологические процессы и оборудование и отдельно на средства автоматизации. Этот системный недостаток присущ и для создания новых обогатительных фабрик. Связано это с отсутствием научно-методических разработок по совместному синтезу объекта управления и управляющей подсистемы.

Конечно, проектирование автоматизированных систем должно начинаться как можно

раньше и, в идеале, должно вестись параллельно (совместно) с управляемым объектом [1]. Однако, на практике последовательность проектирования промышленных комплексов заключается в проектировании сначала технологических схем (объектов), а затем управляющей подсистемы. Из этого следует, что на управляющую подсистему возлагается достижение требуемых свойств всей системы управления. Это может привести либо к значительному усложнению управляющей подсистемы, либо даже к невозможности получения требуемого свойства всей системы. Кроме того, страдают и сроки ввода в действие всего промышленного объекта.

Кроме того, техническое задание на реконструкцию (модернизацию, перевооружение) обогатительной фабрики с введением части «новых» технологических агрегатов и участков делается отдельно от существующего ТК (или затрагивает его минимально, с учетом «стыковки» материальных потоков). Техническое задание на автоматизированные системы управления также делается на вновь вводимые агрегаты и участки. Однако необходимы модернизация как систем автоматизации управления в части вновь вводимого оборудования, так и существующей системы автоматизации, что, как правило, не учитывается на стадии разработки технического задания, и, соответственно, не выделяются временные и финансовые ресурсы.

Также, при выборе нового технологического оборудования необходимо учитывать "увязку" электротехнического оборудования, контрольно-измерительных приборов, программно-технических средств уже существующего комплекса. Выбор программно-технических средств для новых технологических участков необходимо выполнять с учетом уже существующих аналогичных средств или с обеспечением их интеграции.

Должны быть заложены соответствующие ресурсы и на разработку технического и программного обеспечения блоков интеграции существующих и новых элементов системы.

Пуск без останова основного оборудования. Часто вновь вводимая в действие в рамках реконструкции система автоматизации непосредственно связана с существующим технологическим комплексом и его управляющей системой, например, автоматизированной системой оперативно-диспетчерского управления. Интеграцию вновь вводимой системы с существующей системой необходимо выполнять на остановленном технологическом оборудовании. Однако на практике утвержденные производственные планы по переработке полезных ископаемых позволяют производить останов технологического оборудования только для выполнения планово-предупредительных работ (ППР), что зачастую недостаточно для выполнения интеграционных и отладочных процедур. Таким образом, ввод в действие обновленных систем автоматизации производится кусочно, в моменты проведения ППР, конкурируя по времени с работами, проводимыми обслуживающим персоналом производственного объекта. Это существенно затягивает сроки ввода в эксплуатацию.

Таким образом, рациональнее начинать модернизацию системы с формирования и монтажа шкафов с новым оборудованием, учитывая тесную интеграцию устанавливаемого оборудования с существующим. После чего поэтапно (либо по агрегатам, либо по технологическим подсистемам) переносить функции старой системы на новую с обеспечением возможности параллельного функционирования обеих систем. Демонтаж устаревшего оборудования производится в последнюю очередь, только после принятия новой системы в эксплуатацию.

При готовности шкафов контроллеров и прокладки сигнальных линий от щитов управления агрегатами в шкафы PLC осуществляется:

- поочередное включение временных схем управления технологическими агрегатами, которые можно остановить для пуско-наладки; причем необходимо предусмотреть возможность функционирования части агрегатов под управлением старой, а части – новой системы;
- при временной схеме управление модернизируемыми агрегатами переводится на контроллер, однако для целей контроля и управления агрегатами используются сигнальные линии старой системы; общее управление технологическим комплексом и остальными агрегатами остается без изменений, контроль также остается на существующей мнемосхеме; на данном этапе ведется отладка программного обеспечения вводимой в эксплуатацию системы;
- после отладки программного обеспечения контроллеров всех агрегатов, осуществля-

ется перевод на окончательную схему управления агрегатами; при этом убираются все ненужные сигнальные связи;

- по готовности средств управления верхнего уровня (SCADA-системы) осуществляется перевод диспетчерского управления с мнемосхемы на рабочую станцию;

- после отладки работы локальной системы управления каждым агрегатом, осуществляется перевод управления всем технологическим комплексом с помощью контроллеров обновленной системы автоматизированного управления.

Применение такого рода поэтапной модернизации с одной стороны требует больших затрат времени на ввод в эксплуатацию обновленной системы, с другой стороны позволяет проводить все регламентные работы по модернизации системы без длительных остановок технологического оборудования, что положительно влияет на выпуск конечного продукта.

Закуп оборудования. В существующих процедурах проведения закупа технологического оборудования (особенно при формировании требований к производителям оборудования) зачастую не участвуют специалисты по автоматизации как со стороны эксплуатирующей, так и проектной организации. Это приводит к заказу разнотипных систем локальной автоматизации. При заказе аппаратных и программных средств автоматизации определяющим является стоимость поставляемого оборудования, что не всегда является оправданным. Необходимо учитывать и другие факторы: сроки поставки, гарантия производителя и поставщика, количество поставщиков и другие.

Таким образом, малая вовлеченность специалистов по автоматизации, особенно на ранних стадиях разработки общесистемных проектных решений, при реконструкции технологических комплексов углеобогажительных фабрик и их систем автоматизации может повлечь значительное удорожание проекта и(или) увеличение сроков его реализации. Необходимо как можно раньше, ещё на этапе формирования технического задания и календарного плана реконструкции производственного объекта, привлекать специалистов по автоматизации, что напрямую соотносится с подходом совместного синтеза объекта управления и управляющей подсистемы [1, 2].

Работа выполнена по Госзаданию Минобрнауки России N8.8611.2017/8.9.

Библиографический список

1. Совместный синтез объекта управления и управляющей подсистемы // М.В. Ляховец, К.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, С.В. Чернявский, Е.И. Львова / Изв. вузов. Черная металлургия. – 2014. – № 12. – С. 33-36.

2. О необходимости совместного синтеза объектов управления и управляющих систем / М.В. Ляховец, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин, К.Е. Барагичев // Труды IX Всероссийской научно-практической конференции "Системы автоматизации в образовании, науке и производстве" / СибГИУ – Новокузнецк, 2013. – С. 52-54.

FIREFIGHTER – ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ТАКТИКЕ БОРЬБЫ С ПРИРОДНЫМИ ПОЖАРАМИ

Буслов И.А.¹, Доррер А.Г.¹, Доррер Г.А.^{1,2}, Кобыжакова С.В.², Яровой С.В.¹

¹*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

²*Сибирская Пожарно-спасательная Академия МЧС России,
г. Железногорск, Россия*

Введение

Природные пожары представляют серьезную опасность для многих стран. Борьба с ними – это сложный и зачастую опасный процесс, связанный с работой многих ветвей власти, организаций, служб, их взаимодействием между собой и с населением [1-3].

Своевременное обнаружение, локализация и ликвидация природного (лесного, торфяного, степного и т.п.) пожара достигается эффективным планированием и работой на всех уровнях принятия решений: стратегическом, оперативном, тактическом; достаточным материально-техническим обеспечением; использованием современных научно-технических разработок в области мониторинга и тушения пожаров и многими другими факторами. Таким образом, тушение природного пожара – сложный, разносторонний процесс, требующий хорошей организации.

Особую роль в этом процессе играет качественная подготовка персонала, осуществляющего борьбу с пожаром. При этом следует иметь в виду, что в тушении природных пожаров участвует персонал различных ведомств: сотрудники лесопожарных центров Минприроды РФ, персонал ФБУ «Авиалесоохрана», подразделения федеральных органов пожарной охраны Министерства ГОЧС, члены добровольных пожарных дружин, создаваемых органами государственной власти и муниципалитетами, персонал предприятий и организаций, привлекаемых к тушению природных пожаров.

Обучение персонала правилам и тактике борьбы с природными пожарами осуществляется в образовательных системах различного уровня – от специальной подготовки в высших учебных заведениях до краткосрочных курсов для привлекаемых работников сторонних предприятий и организаций. Однако независимо от уровня учебного заведения, в котором проведено обучение, члены противопожарных команд должны обладать базовыми знаниями техники безопасности на пожарах, способы и тактику борьбы с природными пожарами.

В настоящей работе рассматривается разработанная авторами интерактивная имитационная система FIREFIGHTER, предназначенная для обучения персонала основам знаний о природных пожарах и правилам принятия решений по борьбе с ними.

1. Структура и функции системы FIREFIGHTER

Система представляет собой web-ориентированный программный комплекс на базе обучающей системы MOODLE [4], которая сегодня является одной из самых популярных в мире и используется как в традиционном учебном процессе, так и при обучении персонала, проведении различных тренингов, и разработанной авторами программы ТАЙГА-3, которая основана на мультиагентном подходе к моделированию процессов распространения и ликвидации природных пожаров и предназначена для обучения различных категорий пользователей учебно-игровым способом основам тактики борьбы с лесными пожарами [5].

Основной задачей для обучаемого после прохождения тестирования в системе MOODLE является принятие решений по локализации очага пожара с помощью различных доступных сил и средств.

Структура и компоненты системы FIREFIGHTER показаны на рисунке 1.

Ниже перечислены функции компонентов системы FIREFIGHTER.

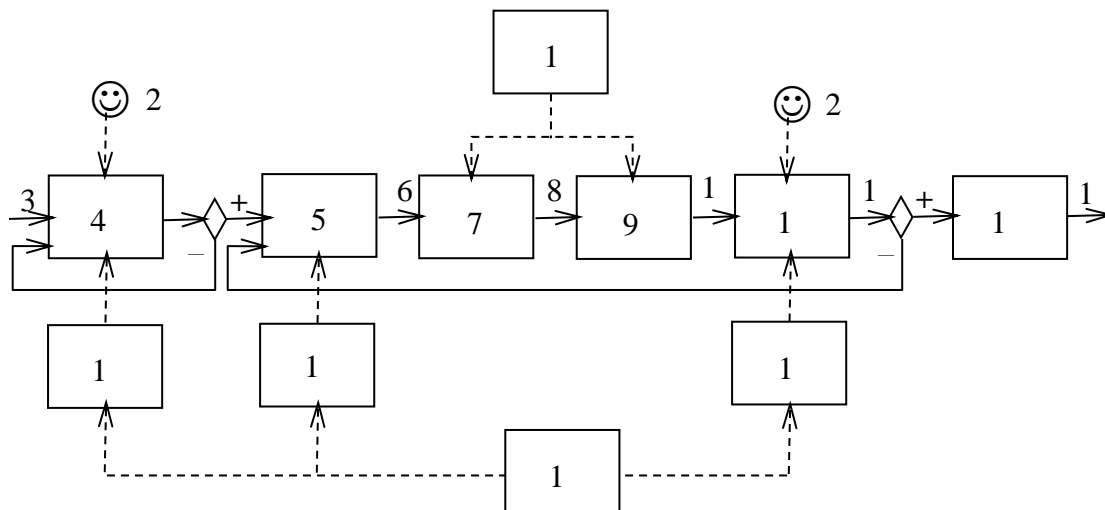
Функции системы MOODLE:

- предварительное обучение и тестирование обучаемого,
- выбор варианта сценария борьбы с пожаром,
- передача данных по сценарию в программу TAIGA-3
- получение сообщений о событиях из программы TAIGA-3
- формирование протокола событий,
- оценивание решений, принятых обучаемым,
- формирование общей оценки работы обучаемого,
- формирование зачетной ведомости.

Функции программы TAIGA-3:

- на основе исходных данных сценария формирование игровой ситуации: карта местности с указанием возможных объектов защиты, характеристики растительных горючих материалов (РГМ), класс пожарной опасности (КПО), скорость и направление ветра, начальная конфигурация пожара, список имеющихся противопожарных сил и средств,
- моделирование и отображение на карте местности пожарной ситуации:

- распространение пожара, действие противопожарных сил и средств,
- непрерывное (через заданный интервал времени) формирование данных о динамике пожара: площадь, пройденная огнем, длина горящей кромки, расстояние до объекта защиты и время достижения объекта пожаром –,
 - формирование сообщений о принимаемых игроком решениях: вызов персонала и технических средств, указания по их перемещению, расстановка пожарных вдоль кромки пожара, построение противопожарных полос и др. с привязкой по времени,
 - выявление катастрофических ситуаций: захват пожаром объектов защиты, попадание пожарных или техники в огонь, бесконтрольное нарастание площади пожара и длины горящей кромки и др.,
 - передача данных о событиях в систему MOODLE.



- 1 – программа TAIGA-3; 2 – тьютор; 3 – вход в систему; 4 – обучение и тестирование;
 5 – выбор сценария игры; 6 – данные сценария; 7 – имитация процесса борьбы с пожаром;
 8 – события в системе; 9 – формирование протокола событий; 10 – протокол событий;
 11 – оценивание действий обучаемого; 12 – оценка успешности действий обучаемого;
 13 – формирование документа о прохождении обучения; 14 – окончание обучения;
 15 – интерактивный курс по основам тактики борьбы с пожарами и технике безопасности;
 16 – база сценариев; 17 – правила оценивания работы обучаемого; 18 – система MOODLE

Рисунок 1 - Структура имитационной обучающей системы FIREFIGHTER

Функции тьютора (модератора):

- консультации и помощь обучаемому на этапе предварительного обучения и контроля,
- оценивание действий обучаемого при работе с имитационной программой, формирование документа о прохождении обучения.

2. Пример работы системы

Рассматривается модель природного пожара в районе заповедника «Красноярские столбы» (рисунок 2). Задача обучаемого состоит в выборе противопожарных сил и средств с целью не допустить захвата пожаром населенного пункта.

Начальные условия прохождения сценария:

- 1) населенный пункт (защищаемый объект) выделен цветом;
- 3) начальная площадь очага лесного пожара - 0,22 га;
- 4) скорость ветра под пологом леса 2 м/с;
- 5) направление ветра – север;
- 6) класс пожарной опасности по условиям погоды КПО - 4.

Обучаемый решил использовать противопожарные барьеры шириной 0.5 метра (белая линия на рисунке), чтобы исключить возможность достижения пожаром населенного пункта.

Однако рисунок показывает, что ширины противопожарного барьера недостаточно. Пожар преодолел препятствие, продолжил распространяться и достиг объекта защиты.

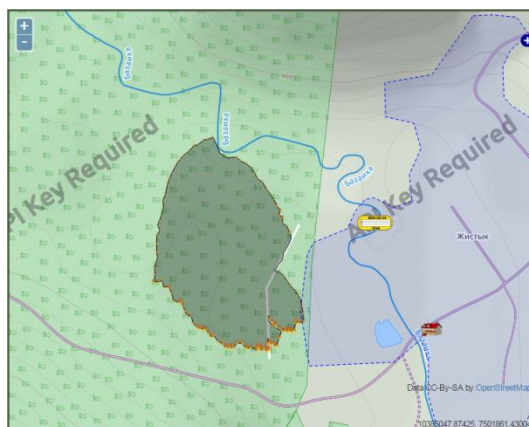


Рисунок 2 - Пожар преодолел препятствие и подошел к объекту защиты. Время: 4 ч, 40 м

В процессе прохождения сценария системой формировался протокол событий и действий обучаемого. Протокол для данного примера представлен ниже.

Время: 0 ч, 00 м

- Обнаружен очаг лесного пожара площадью 0,22 га;
- Расстояние до объекта защиты 393 м;
- Скорость распространения фронта пожара 2,8 м/мин;

Время: 0 ч, 45 м

- Обучаемый решил использовать бульдозер Д-533 для прокладки противопожарного барьера шириной 0,5 м.;

Время: 1 ч, 00 м

- Площадь пожара 0,95 га;
- Расстояние до объекта защиты 281 м;
- Скорость распространения фронта пожара 3,19 м/мин;

Время: 1 ч, 25 м

- Бульдозер Д-533 начал прокладку противопожарного барьера;

Время: 2 ч, 00 м

- Площадь пожара 1,995 га;
- Расстояние до объекта защиты 183 м;
- Скорость распространения фронта пожара 2,08 м/мин;

Время: 2 ч, 10 м

- Бульдозер Д-533 закончил прокладку противопожарного барьера;

Время: 3 ч, 00 м

- Площадь пожара 3,413 га;
- Расстояние до объекта защиты 110 м;
- Скорость распространения фронта пожара 3,34 м/мин;

Время: 4 ч, 00 м

- Площадь пожара 5,435 га;
- Расстояние до объекта защиты 50 м;
- Скорость распространения фронта пожара 2,42 м/мин;

Время: 4 ч, 40 м

- Площадь пожара 6,995 га;
- Расстояние до объекта защиты 0 м;
- Скорость распространения фронта пожара 3,36 м/мин;
- Пожар достиг объекта защиты, моделирование завершено.

Мы видим, что обучаемый принял неверное решение, в результате чего пожар достиг объекта защиты.

Заключение

Разработанная система FIREFIGHTER – попытка создания интегрированной системы обучения персонала основам тактики борьбы с природными пожарами.

Комбинация популярной электронной обучающей системы MOODLE с разработанной авторами имитационной системой TAIGA-3 позволила, по мнению авторов, создать достаточно эффективную методику и программные средства для обучения персонала различного уровня квалификации.

Система FIREFIGHTER требует дальнейшего развития с точки зрения повышения функциональности и реалистичности имитации процесса борьбы с пожаром, расширения базы сценариев, противопожарных средств и картографической поддержки. В настоящее время система проходит тестирование в Сибирском государственном университете науки и технологий и Сибирской пожарно-спасательной академии МЧС России.

Библиографический список

1. Иванов В. А., Иванова Г. А., Москальченко С. А. Справочник по тушению природных пожаров. 2-е изд. перераб. и доп. Красноярск: ПРООН/МКИ. 2011. 130 с.
2. Волокитина А. В. Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами (практические рекомендации). Красноярск: СО РАН. 2002. 63 с.
3. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2008. 404 с.
4. Официальная документация по MOODLE 3.3. URL: https://docs.moodle.org/33/en/Main_page.
5. Яровой, С. В. Применение агентных моделей для имитации процесса локализации природных пожаров //Электронный научный журнал «Программные продукты, системы и алгоритмы» Вып. № 2, 2016г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ «АНТОНОВСКАЯ»

Грачев В.В.¹, Прокофьев С.В.², Лысенко О.Н.², Циряпкина А.В.¹, Иванов Д.В.¹

¹ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

²АО «Обогащительная фабрика «Антоновская», г. Новокузнецк, Россия

Углеобогащительная фабрика «Антоновская» (г. Новокузнецк Кемеровской обл.) введена в эксплуатацию в 2001 году и является одной из первых фабрик нового поколения [1, 2].

Среди основных проектных и технологических решений ОФ «Антоновская» можно выделить:

- применение методов обогащения углей, дающих низкую энергоемкость производства;
- 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.

Система автоматизации управления технологическим комплексом обогатительной фабрики (САУ ТК ОФ) «Антоновская», построенная на базе микропроцессорных программируемых логических контроллеров (ПЛК) и SCADA-системы и функционирующая в режиме жесткого реального времени, послужила прототипом практически для всех последующих

углеобогажительных фабрик Кузбасса.

В настоящее время САУ ТК ОФ «Антоновская» хотя и выполняет свои функции, но во многом не соответствует современным требованиям, предъявляемым к системам автоматизации промышленных комплексов.

Анализ действующей САУ ТК ОФ выявил следующие ее недостатки.

1. Персональные компьютеры диспетчера и оператора, реализованные на базе Intel Pentium и ЭЛТ-мониторов, выработали свой ресурс и не могут конкурировать с современными станциями по производительности, надежности, эргономическим и экологическим характеристикам.

2. Прикладное программное обеспечение, построенное на базе операционной системы QNX и SCADA-системы RealFlex, не обеспечивает в полной мере функциональные возможности современных САУ ТК ОФ.

3. Ограничены возможности быстрой корректировки прикладного программного обеспечения, в частности при редактировании графических элементов, при написании скриптов из-за невозможности использования популярных библиотек программирования DDL, готовых управляющих элементов ActiveX, протоколов обмена информации OPC, DDE, COM/DCOM.

4. Не осуществляется централизованный сбор и хранение всей производственной информации, необходимой для анализа и эффективного управления промышленным комплексом (информации о работе оборудования, произошедших событиях, повлекших простой оборудования или создание аварийной ситуации, о действиях персонала).

5. Существующая САУ ТК ОФ построена по принципу «лоскутной» автоматизации. Для решения производственных задач ОФ (визуализация, хранение предыстории, построение отчетов) задействовано большое число программных продуктов от разных производителей, для согласованной и эффективной работы которых требуется использовать множество разнообразных интерфейсов и протоколов;

6. Отсутствует возможность построения интегрированной системы на базе единой программно-аппаратной платформы – MES (Manufacturing Execution System – система управления производством).

В 2017 году началась модернизация верхнего уровня САУ ТК ОФ «Антоновская» с целью устранения данных недостатков, а также для расширения и развития функциональных возможностей системы.

Модернизация верхнего уровня САУ ТК ОФ «Антоновская» осуществляется поэтапно, параллельно работе действующей системы без остановки основного производства.

На первом этапе развернута станция разработчика (инженерная станция) и введен в действие сервер предыстории. На инженерной станции производится конфигурирование сервера предыстории, настройка драйверов ввода/вывода и отладка проекта для АРМов диспетчера и погрузки. Сервер предыстории осуществляет хранение собранной производственной информации с ПЛК нижнего уровня, при этом сбор информации для сервера производится параллельно со сбором данных для действующих диспетчерских станций.

На втором этапе вводится в действие АРМ погрузки. В процессе развертывания, настройки и конфигурирования АРМа управление технологическим комплексом погрузки осуществляется действующей станцией оператора погрузки.

На третьем этапе в систему вводятся АРМы диспетчера. В процессе их развертывания, настройки и конфигурирования управление технологическим комплексом ОФ осуществляется действующими диспетчерскими станциями.

Управление технологическим комплексом ОФ и комплексом погрузки будет передано на новые АРМы лишь после полного завершения всех этапов пуско-наладочных работ.

Функциональная структура САУ ТК. Сообразно назначению и целям создания в функциональной структуре САУ ТК ОФ «Антоновская», представленной на рисунке 1, выделено три основные системы:

1) система централизованного сбора, обработки и хранения информации;

- 2) система инженерного сопровождения.
- 3) система автоматизации управления технологическим комплексом фабрики, состоящей из следующих четырех систем:
 - система автоматизации оперативно-диспетчерского контроля и управления технологическим комплексом;
 - система автоматизации управления технологическим комплексом углеприема и углеподготовки;
 - система автоматизации управления технологическим комплексом обогащения рядового угля;
 - система автоматизации управления технологическим комплексом складирования и погрузки продуктов обогащения.

Техническое обеспечение. Аппаратная реализация верхнего уровня САУ ТК ОФ реализуется на базе персональных компьютеров, серверов виртуализации и дискового массива корпорации Hewlett-Packard (рисунок 2).

АРМы диспетчера, АРМ погрузки и инженерная станция реализованы на базе персональных компьютеров HP 280 G2 MT с 27” LCD-мониторами.

Серверы виртуализации реализованы на базе серверов HPE ProLiant DL360 Gen9 с процессорами XEON. Серверы оснащены SSD дисками на 256 Gb для более быстрой работы операционной системы и быстрого доступа к данным, а также жесткими SAS дисками на 300 Gb, объединенными в RAID-массив для исключения потери информации в случае выхода из строя одного из накопителей.

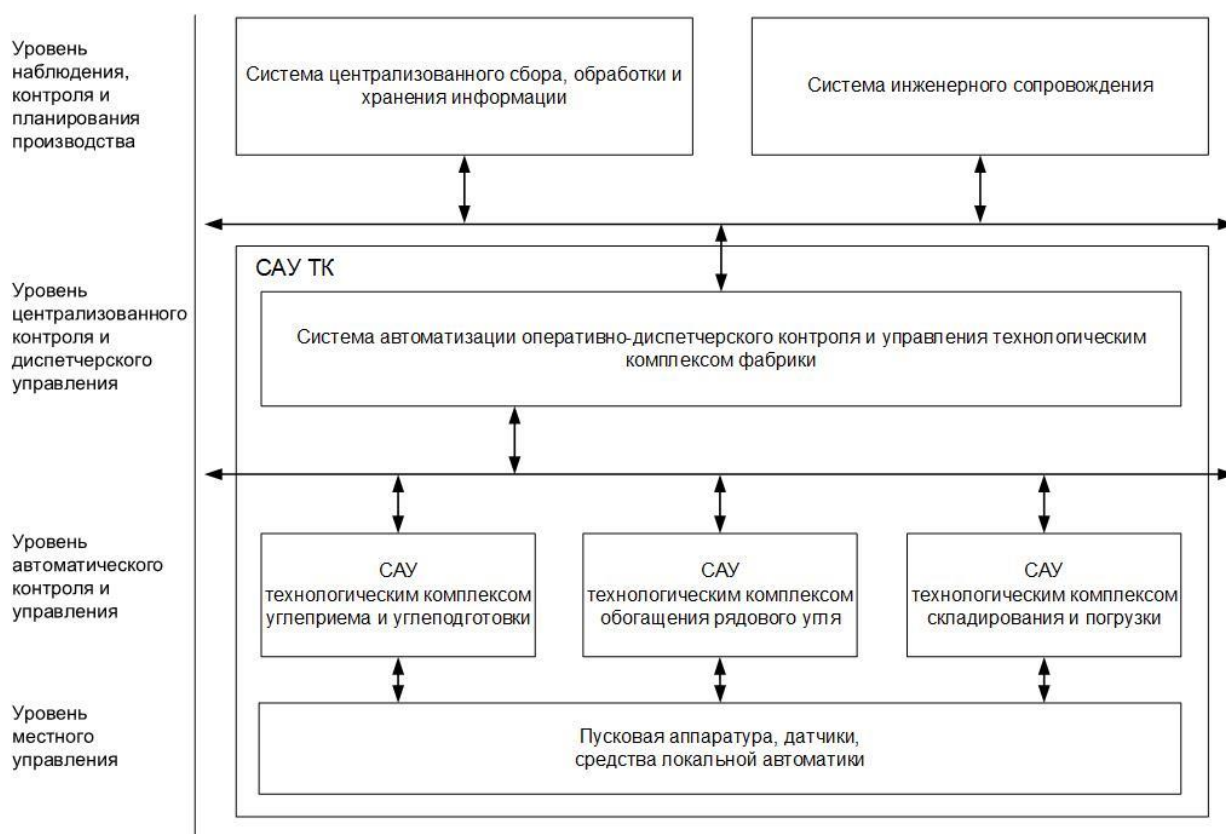


Рисунок 1 – Функциональная структура САУ ТК ОФ «Антоновская»

Дисковый массив реализован на базе HP MSA 1040, оснащенного четырьмя жесткими SAS дисками по 2 ТВ, что дает возможность быстрого расширения доступного объема памяти серверов виртуализации. Также при недостаточном объеме памяти серверов информация сохраняется на дисковом массиве. Основная функция дискового массива MSA 1040 – это повышение отказоустойчивости системы. При нормальном функционировании системы осуществляется функция миграции виртуальных серверов (IAS, DIS; Historian; Development Stu-

dio, Galaxy Repository) на дисковый массив.

Поставщиком данных для АРМов является основной сервер виртуализации. В случае выхода его из строя происходит автоматическая миграция его виртуальных машин на резервный сервер, находящийся в «горячем» резерве. Такой вариант резервирования обеспечивает повышенную отказоустойчивость системы и сохранность данных, исключая потерю производственной информации.

Дисковый массив и серверы виртуализации установлены в специализированном серверном шкафу в серверной комнате. Помещение серверной оснащено системой кондиционирования воздуха для поддержания оптимальной рабочей температуры оборудования.

АРМы диспетчера ОФ располагаются на пульте диспетчера в помещении операторской фабрики. АРМ погрузки располагается в операторской погрузки.

Программное обеспечение. В качестве базового программного обеспечения САУ ТК ОФ «Антоновская» выбран пакет Wonderware System Platform 2017, средство отображения Wonderware InTouch, сервер предыстории Wonderware Historian компании Wonderware – структурного подразделения корпорации Schneider Electric (Франция).

Компания Wonderware является ведущим разработчиком программных продуктов для создания автоматизированных систем, управляющих технологическими и производственными процессами всех уровней предприятия. Уже более 20 лет программные продукты Wonderware применяются в России для создания САУ ТК и проектирования систем управления производством и являются программным пакетом класса MES.

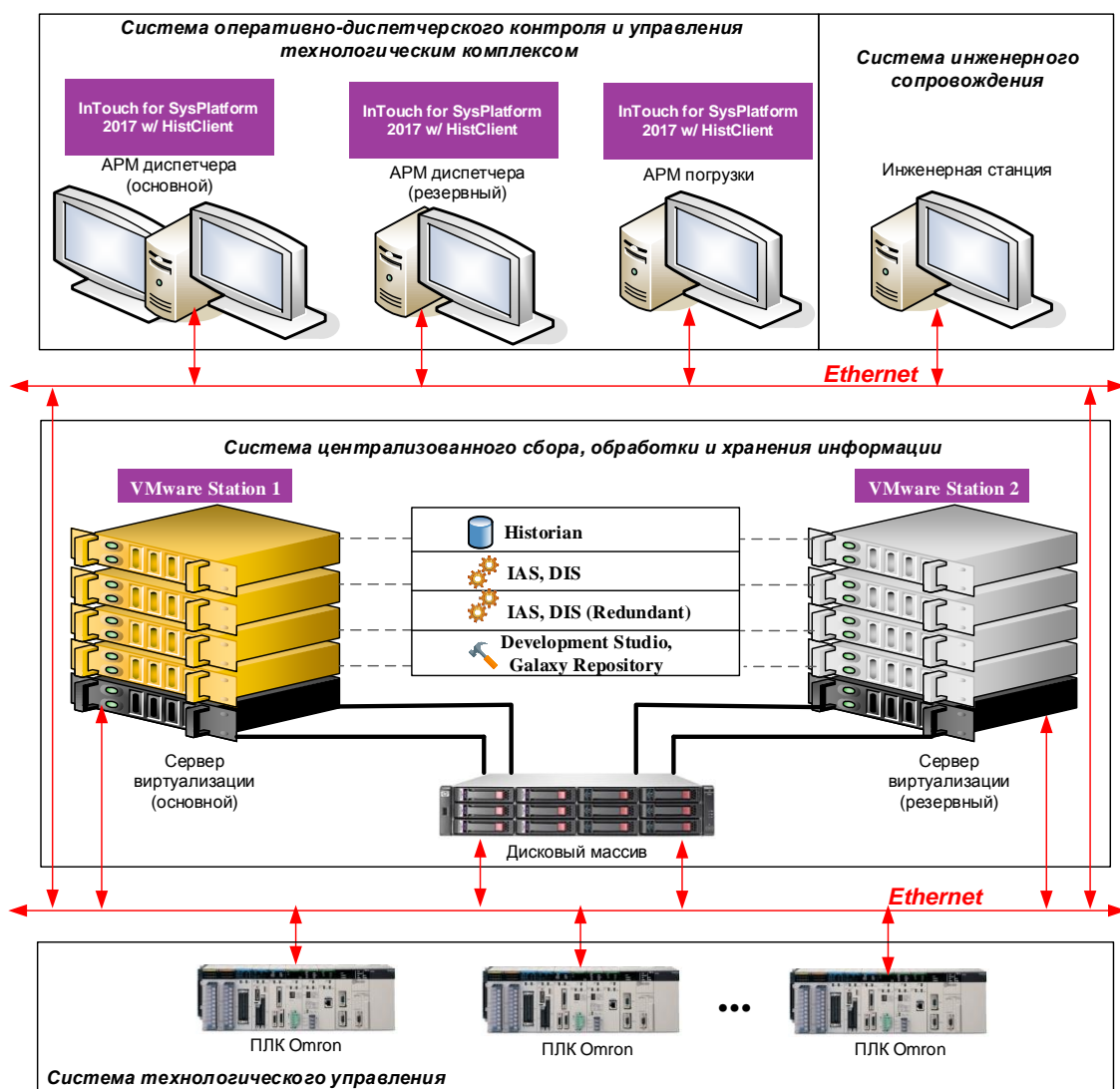


Рисунок 2 – Техническая структура верхнего уровня САУ ТК ОФ «Антоновская»

Программное обеспечение от Wonderware строится по модульному принципу и является максимально открытым – имеет возможность сопряжения с различными продуктами других фирм, имеет в наличии мощный и универсальный скриптовый язык, возможность встраивания готовых компонентов, в том числе и ActiveX компонентов [3].

Базовое программное обеспечение верхнего уровня САУ ТК ОФ «Антоновская» включает в себя следующие программные продукты:

- средства ввода-вывода данных (Device Integration Server);
- системная платформа (Wonderware System Platform);
- система виртуализации (VMware vSphere);
- средства хранения предыстории (Wonderware Historian Server);
- программное обеспечение для организации доступа к производственной информации (Wonderware Information Server);
- программное обеспечение сбора и обработки производственных данных (Wonderware Industrial Application Server);
- средства визуализации данных (Wonderware InTouch Runtime);
- программное обеспечение разработки и сопровождения системы (Wonderware Development Studio).

Средства ввода/вывода данных (Device Integration Server)

В соответствии с укрупненной технической структурой САУ ТК ОФ (рисунок 2) все производственные данные из подсистемы нижнего уровня собираются посредством драйвера ввода/вывода OmronFINS пакета Device Integration Server.

Драйвер ввода/вывода OmronFINS связывается по специализированному протоколу FINS напрямую с ПЛК Omron и позволяет клиентским приложениям, таким как сервер сбора и обработки производственных данных, сервер предыстории, средство разработки Development Studio получать в реальном времени доступ к данным ПЛК Omron.

Системная платформа (Wonderware System Platform)

Системная платформа Wonderware System Platform устанавливается на:

- сервер разработки Development Studio и хранилище проекта Galaxy Repository;
- серверы сбора и обработки производственных данных Industrial Application Server и ввода-вывода Device Integration Server;
- сервер предыстории Historian Server и Web- портала Information Server;
- АРМы диспетчера и АРМ оператора погрузки.

Системная платформа Wonderware System Platform обеспечивает единую и масштабируемую программную платформу. Она выступает в качестве «промышленной операционной системы», благодаря предоставлению стандартных услуг, включающих визуализацию, настройку, развертывание, соединение, защиту, связь с данными, хранение данных и управление ими, взаимодействие персонала и многое другое.

Системная платформа Wonderware System Platform превосходит другие аналогичные решения по простоте проектирования, операционной гибкости и возможностям обработки информации. Она обеспечивает гарантированное получение клиентами необходимых результатов, защиту операционной целостности их предприятий, улучшение аналитических способностей персонала и его безболезненную адаптацию к проводимым изменениям.

Система виртуализации (VMware vSphere)

На каждом из физических серверов виртуализации установлен гипервизор VMware vSphere в качестве платформы виртуальных машин. На базе гипервизора vSphere на серверах виртуализации функционируют по четыре виртуальные машины.

VMware vSphere – ведущая платформа серверной виртуализации с функциями управления виртуализированным центром обработки данных. Этот продукт характеризуют мощные средства виртуализации серверов, надежное автоматизированное управление, функции обеспечения высокой доступности и интеллектуальные функции анализа операций. Настраиваемые шаблоны помогают автоматизировать распределение нагрузки и оптимизировать выделение ресурсов.

- выполнение любого приложения в любом облаке;
- оптимизированное администрирование;
- удобная в эксплуатации система защиты на основе политик;
- интеллектуальная автоматизация и управление эксплуатацией.

Виртуализация на базе VMware vSphere улучшает адаптивность, гибкость и масштабируемость САУ ТК ОФ. Кроме того, виртуализация ускоряет развертывание системы, повышает ее производительность и доступность, а также обеспечивает автоматизацию многих процессов, в результате чего САУ ТК ОФ становится более управляемой и экономичной.

Средства хранения предыстории (Wonderware Historian Server)

Все производственные данные САУ ТК: информация о технологических параметрах и работе оборудования, произошедших событиях, действиях оперативно-диспетчерского и производственно-технического персонала собираются с помощью средств ввода-вывода и архивируются в специализированном сервере предыстории Wonderware Historian Server. Лицензия Wonderware Historian Server предоставляет возможность сбора и архивирования 5000 тегов.

Как реляционная база данных реального времени, архиватор Wonderware Historian является расширением Microsoft SQL Server. Historian предоставляет скорость накопления информации, более чем на порядок превышающую скорость Microsoft SQL Server, снижает требования к объемам запоминающих устройств и имеет расширение стандартного языка SQL для запросов временных рядов данных.

Wonderware Historian работает в сотни раз быстрее, чем стандартные системы баз данных, и использует для хранения информации меньше дискового пространства. Традиционная технология реляционных баз данных не подходит для требовательного производственного уровня. Сервер Wonderware Historian сочетает в себе современные, высокоскоростные методы сбора и сохранения данных с расширенными методами использования меток времени во встроенную реляционную базу данных Microsoft SQL Server. Алгоритм хранения данных «вращающаяся дверь» – впервые внедренный компанией Foxboro, являющейся подразделением Wonderware, значительно снижает расход дискового пространства, сохраняя при этом все возможности.

Wonderware Historian предоставляет следующие режимы сбора данных: продолжительность состояния, лучшее соответствие, средневзвешенное значение по времени, интеграл, спад, счетчик. Эти режимы сбора данных могут упростить запросы и предоставить необходимую информацию оперативно-диспетчерскому, производственно-техническому персоналу и руководителям предприятия.

Сервер архивных данных Wonderware Historian полностью интегрируется со средствами анализа данных и создания отчетов, среди которых Wonderware Historian Client и Web-портал Wonderware Information Server.

Программное обеспечение для организации доступа к производственной информации (Wonderware Information Server)

Web-портал Wonderware Information Server представляет собой программное обеспечение для организации доступа к производственной информации при помощи Web-браузера. Wonderware Information Server объединяет и представляет данные о производительности предприятия и производстве посредством легко внедряемого веб-решения.

С помощью Web-браузера из любой точки информационной сети предприятия на странице портала Information Server диспетчер или специалист с определенным уровнем доступа может просмотреть мнемосхемы, графики о процессах, тенденции, отчеты, информацию о времени простоя, события, а также данные о характеристиках продуктов обогащения.

Программное обеспечение сбора и обработки производственных данных (Wonderware Industrial Application Server) и средства визуализации данных (Wonderware InTouch Runtime)

Для отображения информации о текущем состоянии технологических комплексов в целом и каждой единицы оборудования в частности, выдачи команд управления комплексами и отдельными единицами оборудования, а также для обеспечения возможности анализа

накопленных данных на АРМах диспетчера и оператора устанавливается пакет Wonderware InTouch Runtime (рисунки 3-4), функционирующий на базе операционной системы Microsoft Windows. Сбор и передача данных реального времени на станции Wonderware InTouch Runtime осуществляется серверами сбора и обработки производственных данных Wonderware Industrial Application Server.

Программное обеспечение разработки и сопровождения системы (Wonderware Development Studio)

Инженерная станция обеспечивает инструментальную поддержку изменений информационного и прикладного программного обеспечения САУ ТК ОФ, а также решение задач производственно-исследовательского характера. Необходимость выполнения этих работ возникает в связи с изменениями технологического регламента, состава объектов контроля и управления в процессе выполнения пуско-наладочных работ и в период опытной эксплуатации и отработки технологических режимов, а также для дальнейшего расширения состава задач и автоматизированных функций контроля и управления технологическими и производственными процессами участка обогащения угля.

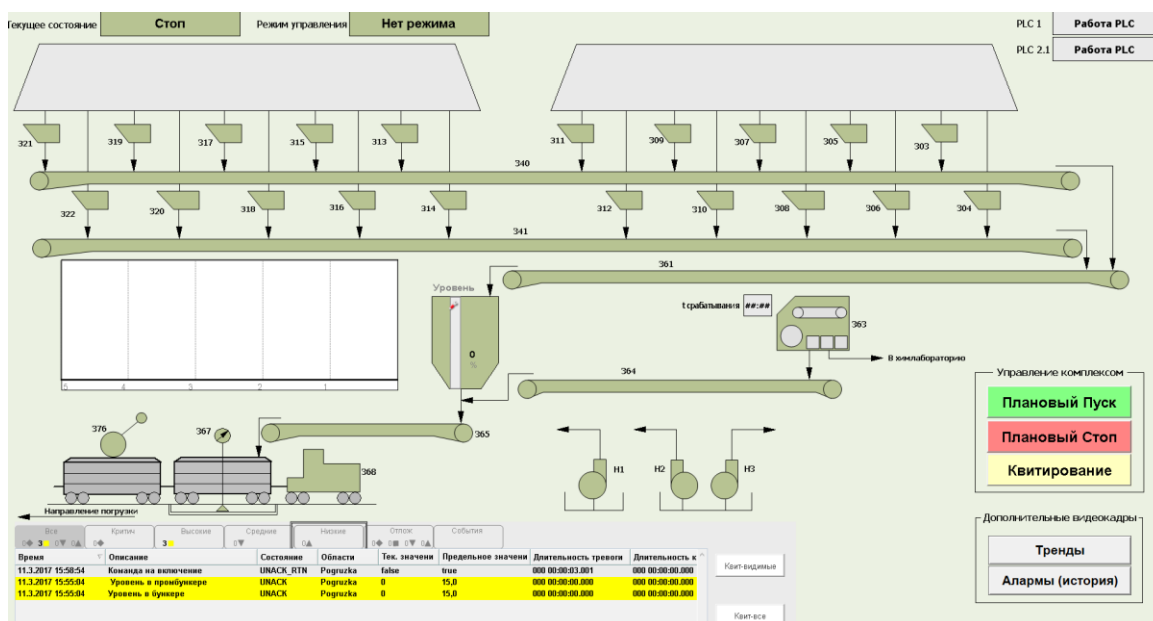


Рисунок 3 – Мнемосхема АРМа оператора погрузки ОФ «Антоновская»

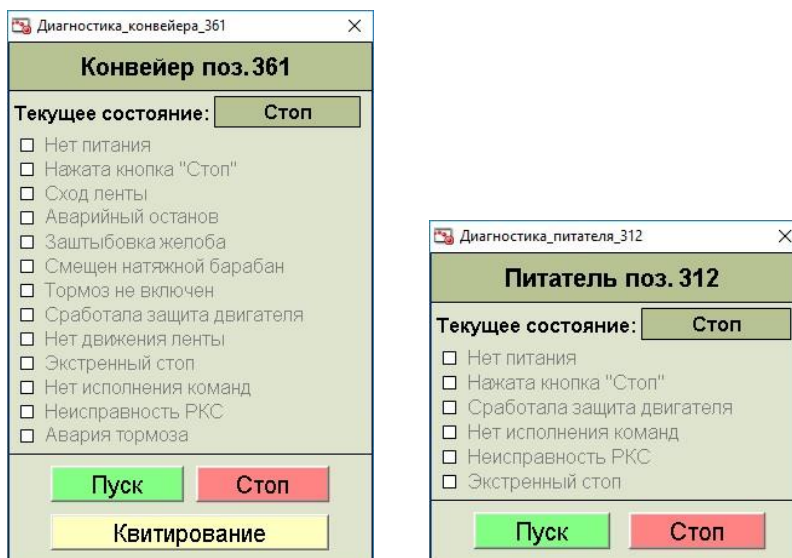


Рисунок 4 – Всплывающие диагностические окна мнемосхемы АРМа оператора погрузки

На инженерной станции устанавливаются программный пакет Wonderware Development Studio для конфигурирования, настройки и программирования всех программных компонентов САУ ТК ОФ «Антоновская».

В последующем разработанное на инженерной станции прикладное программное обеспечение переносится на соответствующие узлы САУ ТК ОФ по информационной сети.

Интерфейс разработки инженерной станции интуитивно понятен и полностью поддерживает принцип WYSIWYG (What You See Is What You Get – что вы видите на экране инженерной станции, то вы и получите на экране удаленной станции): все, что создается на экране инженерной станции при помощи соответствующего программного обеспечения, будет выглядеть точно так же и на экране удаленной станции [4, 5].

Вывод. Модернизация верхнего уровня САУ ТК ОФ «Антоновская» позволяет расширить функциональные возможности системы, повышает удобство, безопасность и эффективность работы оперативно-диспетчерского персонала, организует платформу для создания интегрированной системы класса MES и, как следствие, увеличивает потенциал для дальнейшего развития САУ ТК.

Работа выполнена по Госзаданию Минобрнауки России N8.8611.2017/8.9.

Библиографический список

1. Сазыкин Г.П. Проектирование и строительство углеобогачительных фабрик нового поколения / Г.П. Сазыкин, Б.А. Синеокий, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003 – 126 с.
2. Мышляев Л.П. Автоматизация управления углеобогачительными фабриками / Л.П. Мышляев, С.Ф. Киселев, А.А. Ивушкин и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003. – 304 с.
3. 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.
4. Грачев В.В. Особенности разработки информационного обеспечения систем автоматизации углеобогачительных фабрик нового поколения / В.В. Грачев, М.В. Шипунов, К.А. Ивушкин, А.В. Циряпкина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – С. 90 – 95.
5. Грачев В.В. Программное обеспечение систем автоматизации управления промышленными комплексами / В.В. Грачев, М.В. Шипунов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отраслях: Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 226 – 232.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Решетников В.В.¹, Давкаев К.С.², Корольков М.В.², Ляховец М.В.³

¹ООО «ММК-Уголь», г. Белово, Россия

²ООО «Синерго Софт Системс», г. Новокузнецк, Россия

³Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Постановка исследовательской задачи

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утвержденные приказом Ростехнадзора № 550 от 19.11.2013, определяют состав систем безопасности, включаемых в МФСБ, а также определяют функции этой системы – «мониторинг и предупреждение условий возникновения опасности геодина-

мического, аэрологического и техногенного характера; оперативный контроль соответствия технологических процессов заданным параметрам; применение систем противоаварийной защиты людей, оборудования и сооружений» [1]. Для решения задачи обеспечения функции «оперативного контроля соответствия технологических процессов заданным параметрам» предложено создание интегрированного класса автоматизированных систем [по аналогии со связкой АСУТП (автоматизированные системы управления технологическим процессом) – АСОДУ (Автоматизированная система оперативного диспетчерского управления)]; ИИ МФСБ (Информационная интегрированная многофункциональная система безопасности) – АСБ (автоматизированная система безопасности).

Информационная интегрированная многофункциональная система безопасности (ИИ МФСБ) является аналогом АСОДУ, и эта система, как инструмент диспетчера по промышленной безопасности, предназначена для решения спектра задач по своевременному реагированию на инциденты и предотвращению аварийных ситуаций. Основанием выделения ИИ МФСБ из АСОДУ является:

- повышение приоритета опасных ситуаций и аварий над общим процессом управления технологическими процессами и выделением их в отдельную категорию задач производства;
- поток информации при управлении сложным производством превысил возможности человека фиксировать мелкие нарушения правил безопасности (ПБ), которые обычно в совокупности и ведут к созданию аварийной ситуации.

Исходя из выше изложенного, создание МФСБ целесообразно для сложных либо опасных технологических производств, например угледобывающего предприятия.

При описании модели МФСБ и её реализации предлагается использовать цепи Маркова в совокупности с синергетическими моделями благодаря сравнительной простоте и наглядности математического аппарата, высокой достоверности и точности получаемых решений.

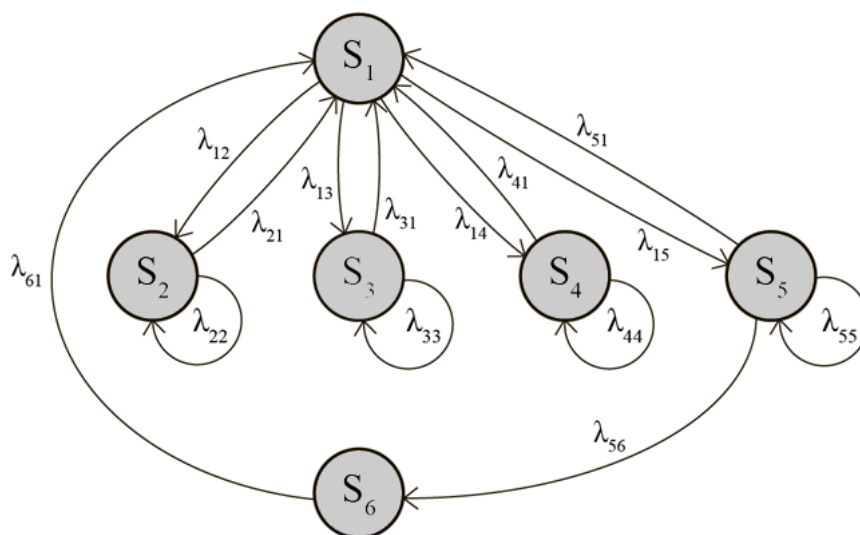
Моделирование многофункциональной системы безопасности

Для синтеза модели МФСБ используются Марковские цепи. Марковские цепи используют общие принципы теории стохастических процессов для анализа дискретного пространства состояний группы объектов во времени. Каждый объект находится в любой момент времени в одном из состояний из ограниченного множества.

Основные постулаты модели МФСБ:

1. Опасное производство – шахта – рассматривается как синергетический объект, имеющий множество внутренних состояний.
2. Переходы из одного состояния в другое рассматриваются как Марковский процесс, то есть с независимыми вероятностями.
3. Физический переход объекта из одного состояния в другое отображается в информационном пространстве, как заданное, ожидаемое событие.
4. Каждое событие генерирует сигнал.
5. Сигнал системой ИИ МФСБ преобразуется в сообщение.
6. Система имеет отрицательные обратные связи по управлению, реализованные организационно-техническими методами.
7. Задачей МФСБ является предотвращение перехода опасного объекта в состояние аварии.
8. При переходе объекта в состояние аварии МФСБ должно минимизировать урон и помочь вернуть объект к нормальному состоянию.

Модель ИИ МФСБ (рисунок 1) может быть представлена в виде переходов системы из одного состояния в другое, порождающее событие и генерирующее сигнал; в начальное состояние системы – нормальное функционирование технологических объектов – «нормальный режим работы системы» (S_1); квантуемое пространство состояний системы может быть представлено в виде таких ранжированных по степени тяжести состояний как: нарушение ПБ (S_2), предупреждение (S_3), инцидент (S_4), авария (S_5). Задачей оператора является предотвращение перехода системы в состояние «аварийный режим работы системы» (S_6). Данная модель может быть отнесена к классу Марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем.



λ_{ij} – вероятность перехода из состояния S_i в состояние S_j

Рисунок 1 – Графическое представление модели ИИ МФСБ:

Основной проблемой в данной модели является большое количество состояний системы и возможных переходов между ними. Для оптимизации работы системы применяются положения реляционной алгебры. Классификация событий и их свойств позволило выделить группы сущностей и разделить на множества с небольшими мощностями. Оптимизация работы модели достигается синхронизацией справочников баз данных ИИ МФСБ и автоматизированных систем безопасности (АСБ).

Классификация событий происходит для каждой АСБ по следующим принципам:

1. Нарушение (повреждение) среды техпроцесса (например – обвал, взрыв метана, пожар, затопление и т.п.).
2. Нарушение (повреждение) средств техпроцесса (оборудования), в том числе энергоснабжения.
3. Отказ систем контроля и управления, в том числе повреждение связи;
4. Отклонение от заданных параметров техпроцесса, в том числе внеплановые остановки.
5. Ошибки (в том числе травмирование) персонала, другие виды нарушений ПБ и предупреждений.

Свойствами событий являются:

1. Приоритет события (Авария, Инцидент, Нарушение ПБ, Подтверждение или Предупреждение)
2. Место и время события;
3. Значения параметров события (например: процентное содержание метана при превышении предельно допустимой концентрации);
4. Персонализация и квитиование события.

Этот подход даёт следующие преимущества:

- справочники МФСБ содержит все события для всех систем безопасности необходимые и достаточные для безопасной работы;
- система универсальна и позволяет добавлять новые события;
- прописаны бизнес-процессы должностных лиц для ликвидации угроз безопасности, как заданная реакция на конкретные события;
- сокращается время выполнения нужных инструкции действий персонала в чрезвычайных ситуациях, повышается точность и конкретность этих инструкций.

Реализация многофункциональной системы безопасности

В предложенной модели ИИ МФСБ собирает и фильтрует данные из АСБ для их последующей обработки и хранения. АСБ может выступать отдельно реализованной специализированной автоматизированной системой, либо быть встроенной в АСУТП. Обмен данными

от АСБ к ИИ МФСБ идёт в виде сигналов, сигналы преобразуются в сообщения о событиях. Сбор данных организован в ИИ МФСБ как по событиям (инициатором отправки сигнала является АСБ), так и по таймеру – происходит периодический опрос внешних АСБ и генерируются сигналы. Функциональная схема взаимодействия систем представлена на рисунке 2.

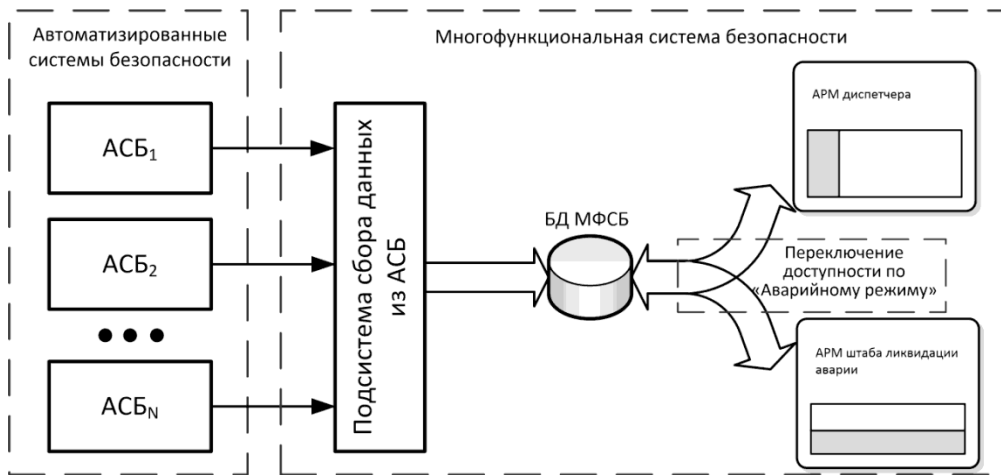


Рисунок 2 – Функциональная схема

Информация, поступающая из смежных автоматизированных систем, аккумулируется в базе данных (БД) МФСБ. Схема данных представлена на рисунке 3.

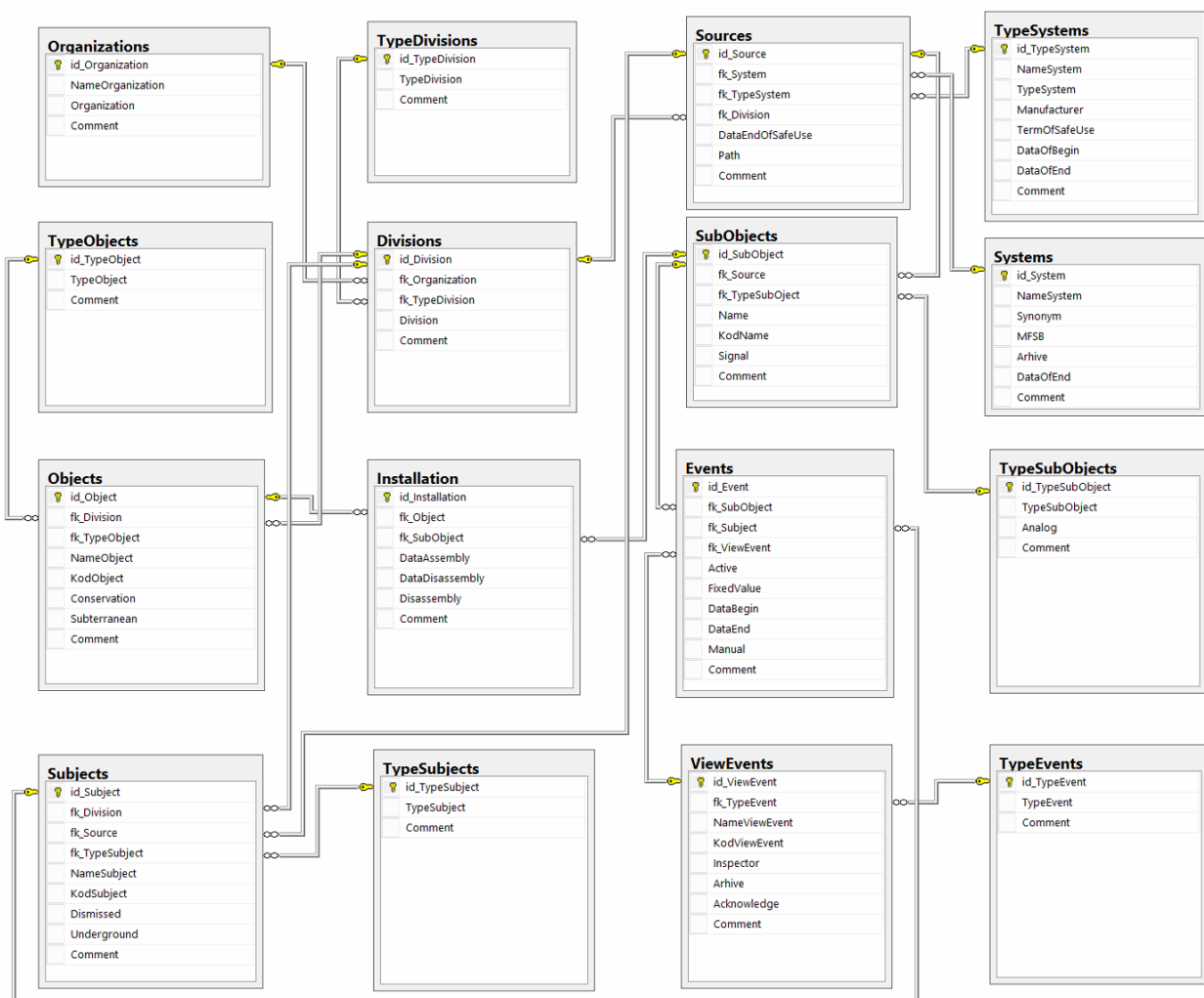


Рисунок 3 – Схема данных МФСБ

Сигналы расшифровываются в сообщения, понятные диспетчеру промышленной безопасности. Сигналы передаются в кодированном виде. Внешний вид автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера представлено на рисунке 4.

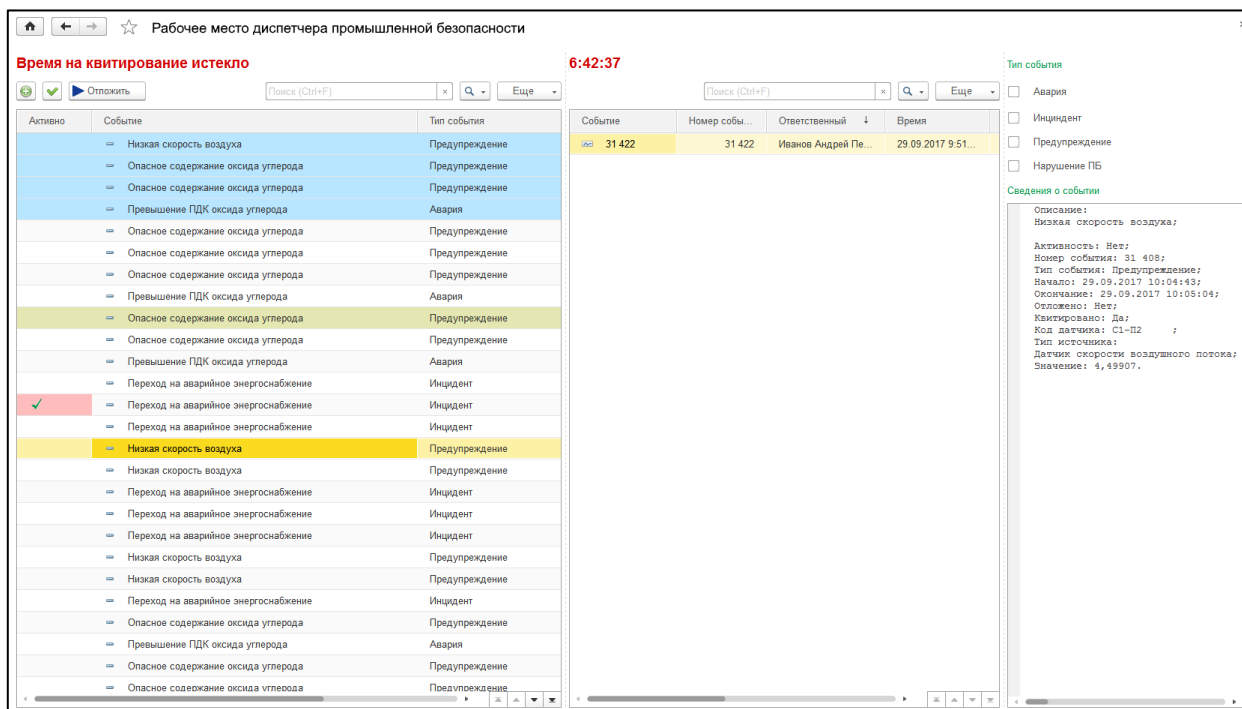


Рисунок 4 – Внешний вид АРМ диспетчера

Система может функционировать в каждый момент времени в одном из двух режимов:
– Нормальный режим работы.

При нормальном режиме работы диспетчер получает сообщения о нарушениях ПБ, инцидентах, авариях и из подсистемы самодиагностики системы МФСБ через журнал событий. Диспетчер должен в обязательном порядке подтвердить приём сообщения (квитировать его). Если сообщение не квитировано в течение заданного промежутка времени, то система переходит в аварийный режим. При регистрации сообщения в системе оно получает статус активного (незавершённого).

После квитирования сообщения диспетчер на основании должностной инструкции и нормативных документов должен принять решение об устранении нарушения ПБ или инцидента. При устранении причины события сообщение автоматически завершается и получает статус архивного. Также возможно завершение события вручную. Но в этом случае сообщение будет отложено на период, заданный при настройке системы, и появится снова, если фактически не произойдёт устранения причин, его вызвавших.

При входе диспетчера в систему или по запросу он получает список отложенных незавершённых сообщений.

В случае, если истекло время завершения события, которое задаётся при настройке системы и зависит от регламента устранения нарушения, то это событие завершается, а вместо него формируется событие с более высоким приоритетом (например, нарушение ПБ становится инцидентом). В этом случае происходит дополнительное автоматическое оповещение ответственных должностных лиц из списка оповещения.

При получении устного, телефонного, в письменном виде или иного неэлектронного сообщения диспетчер вводит его через специальную форму в МФСБ.

– Аварийный режим работы – когда введён в действие план ликвидации аварии.

При аварийном режиме работы диспетчер ожидает завершения аварийного режима и может формировать отчёты о произошедших событиях. Аварийный режим задействуется в

следующих случаях:

- при получении сообщения об аварии;
- по инициативе Ответственного руководителя ликвидации аварии или Горного диспетчера;
- при неквартировании сообщения в течение заданного промежутка времени диспетчером, либо лицом, его замещающим.

При аварийном режиме сообщения системы квитируются автоматически.

Методика анализа производственной безопасности

Накопленная информация по сообщениям за длительный период даёт возможность рассчитать вероятности переходов из одного состояния системы в другое, что позволяет прогнозировать самые вероятные пути распространения аварии.

Анализируя данные можно установить «тонкие» места системы промышленной безопасности предприятия. Что позволяет организационно-техническими методами предотвратить возможные аварии и оптимизировать системы безопасности – нарастив или, напротив, упростив те из них, которые отвечают за наиболее травмоопасные и аварийноопасные участки технологического процесса.

Для автоматизации этого процесса возможно использование технологий систем искусственного интеллекта – экспертные системы, нейронные сети.

Экономическая эффективность внедрения предложенных моделей позволяет оптимизировать затраты на создание и эксплуатацию систем безопасности входящих в МФСБ. Оценивая эффективность технических систем, реализующих системы безопасности, и определяя требуемую «разрешающую способность» распознавания нарушений ТБ этих систем, то есть, проводя оптимизацию количества сигналов генерируемых системой, устраняется избыточность этих систем, что ведет к снижению стоимости приобретения и владения. Либо, устраняется недостаточность этих систем, тем самым минимизируются затраты и время на устранения последствий не предотвращенных аварий. Кроме того, возможно построение цифровой имитационной модели МФСБ предприятия для прогнозирования и экспериментов, для оптимизации, устранения узких мест, а также для обучения и тренировки персонала, что предотвращает поломки и опасность аварий для реальной системы.

Апробация методики начата на шахте Чертинская-Коксовая в 2016 году. В текущее время производится внедрение разработанной системы на указанном производственном объекте.

Библиографический список

1. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 г. № 550 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499060050> (дата обращения : 01.09.17).

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Носков В.Ю., Мухтасаров Р.Т., Каюров В.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Исторически открытость определялась как возможность экономии средств при модификации и (или) при повторном использовании систем и компонентов. Открытость была заботой разработчиков программ и относилась в основном только к программным решениям.

Для современного состояния области применения вычислительной техники характерны быстрый рост потребности в разнообразных программах, большое многообразие технических и программных средств, быстрая сменяемость этих средств, рост масштабов задач, рост объемов и доступности информации, потребность в длительном сохранении информации-

ных результатов и другие факторы.

Несмотря на то, что современные средства разработки автоматически решают многие традиционные задачи открытости, потребность в открытых решениях не уменьшилась, а наоборот, существенно увеличилась. Это связано с тем, что открытость стала необходимой как внешнее свойство программного решения, как возможность быстрого автоматического поиска и анализа компонента (или системы) с точки зрения включения в другую систему, возможность интеграции и взаимодействия с другими компонентами и т.п. Основная польза от открытости компонента должна проявляться в том, что его можно легко найти и проанализировать задолго до приобретения. Также открытость – позволяет исключить зависимость от политики производства одного производителя и возможность смены компонент изделия, без существенных изменений его архитектуры.

Для достижения практического результата и оценки готовности использования открытых решений для построения современных автоматизированных и информационных систем был разработан проект информационного терминала остановочного комплекса. Одним из ключевых параметров, который закладывался при разработке изделия – использование в проекте только открытых и свободных компонент (как на уровне программных средств, так и на уровне аппаратных элементов).

В современных крупных городах быстрая возможность добраться из одной точки города в другую приобретает все большую значимость. Огромное количество улиц, остановок, общественных мест и культурных достопримечательностей зачастую не дает людям добраться, как и на каком транспорте добраться до определенного места, особенно если речь идет о туристах. Поэтому, в первую очередь, современные остановочные комплексы должны обладать интерактивностью, т.е. осуществлять взаимодействие с человеком. В рамках развития общественного городского транспорта одним из ключевых элементов всегда называются системы информирования пассажиров на остановочном пункте о:

1. Времени прибытия общественного транспорта на остановку.
2. Маршрутах и периодичности движения транспорта.
3. Возможном маршруте движения (с пересадками) до точки назначения.

Также в качестве дополнительных опций на подобных остановочных комплексах организуется трансляция звуковой и видеорекламной информации.

Реализация системы

Система представляет из себя набор автономно работающих модулей, каждый из которых предназначен для выполнения своей определенной задачи. Общая компонентная структура системы представлена на рисунке 1.

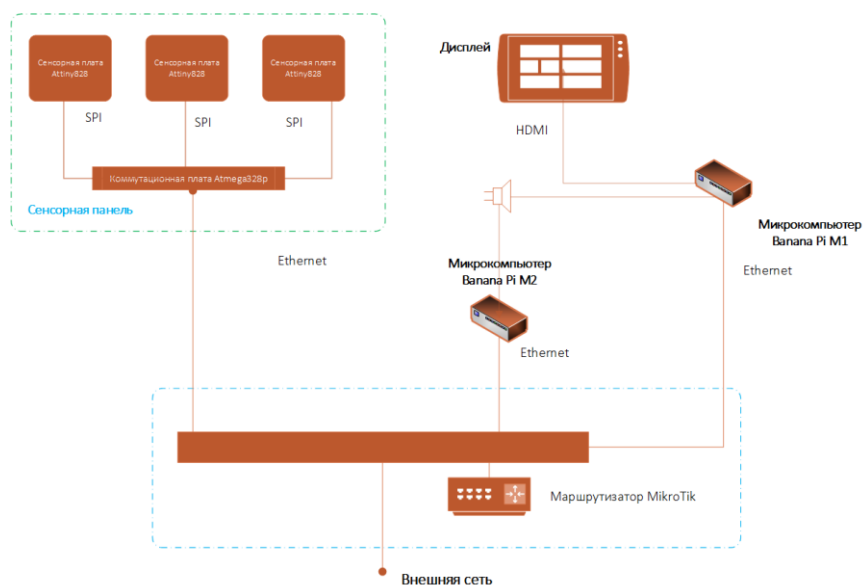


Рисунок 1 – Общая компонентная структура системы

Условно систему можно разделить на 4 модуля:

1. Модуль сенсорной панели. Сенсорная панель представляет собой фанерный лист, на котором располагаются пьезодатчики, используемые в системе в качестве кнопок. Эти кнопки соединены с аналоговыми входами (портами) сенсорной платы. Сенсорная плата представляет из себя микроконтроллер Attiny828. Каждый порт платы принимает информацию от определенной кнопки. На каждом канале имеется резистор на 68 кОм, для стабилизации принимаемого от кнопок напряжения. На фанеру и на кнопки соответственно накладывается карта города. Кнопки расположены в тех местах, где на карте есть культурные достопримечательности, остановки общественного транспорта или большие городские развязки. На карту нанесены окружности в тех местах, где под ней располагаются кнопки.

Принцип действия данной панели заключается в следующем: при нажатии на кнопку, пьезодатчик вырабатывает напряжение. Это напряжение передается на микроконтроллер, который обрабатывает сигнал, определяет, какая кнопка была нажата, и передает информацию далее на коммутационную плату.

2. Модуль коммутационной платы. В данной работе, коммутационная плата представляет из себя управляющий микроконтроллер, к каналам которого подключаются сенсорные платы. Управляющим микроконтроллером выступает микроконтроллер производства компании Atmel Atmega328p. К данному микроконтроллеру через последовательный интерфейс SPI подключены сенсорные платы. Сенсорные платы, посредством интерфейса SPI, взаимодействуют с коммутационной платой, в определенное время отправляя сигналы микроконтроллеру. Микроконтроллер обрабатывает приходящие сигналы и по интерфейсу Ethernet передает данные на управляющий модуль. Такая модель взаимодействия позволяет увеличивать количество модулей сенсорной панели (и, соответственно, количество кнопок) в зависимости от количества определенных на этапе проектирования узловых точек, обозначенных на карте.

3. Управляющий модуль. В данной работе управляющим модулем является микрокомпьютер Banana Pi M1 [1]. Banana Pi M1 это микрокомпьютер на операционной системе Ubuntu. Он хранит в себе программный код для отображения информации о маршруте, базу данных с необходимыми таблицами и полями, а также рекламную информацию.

4. Отдельным модулем можно выделить комплекс «Гражданин – Полиция». За него отвечает микрокомпьютер Banana Pi M2. Комплекс «Гражданин – Полиция» предназначен для быстрой связи с полицией в случае необходимости. Микрокомпьютер Banana Pi M2 имеет встроенный микрофон и к нему подключена кнопка вызова.

Разработка информационной системы производилась с широким применением свободного и открытого программного и аппаратного обеспечения. Свободное программное обеспечение (СПО) – это модель лицензирования программного обеспечения, при которой базовый набор имущественных прав передается владельцу каждого экземпляра программы [2]. Использование свободного программного обеспечения позволяет использовать готовые решения и библиотеки, написанные другими пользователями. В результате ускоряется процесс разработки собственного комплексного программного продукта. Пользователям программного обеспечения с открытым исходным кодом не надо ждать, пока разработчик реализует конкретную возможность, исправит ошибку. Пользователи программ с открытым исходным кодом могут самостоятельно решать возникшую проблему, дополнять ПО.

Для разработки электрических схем сенсорных и коммутационной плат использовалось ПО KiCad. KiCad - распространяемый по лицензии GNU GPL программный комплекс класса EDA с открытым исходным кодом, предназначенный для разработки электрических схем и печатных плат [3]. Данный программный продукт предоставляет возможность создания электрической схемы, автоматической генерации трассировки соединений и генерации технологических файлов для изготовления печатных плат.

Для программирования микроконтроллеров сенсорных и коммутационной плат использовалось ПО Arduino IDE. Данный программный продукт имеет ряд подключаемых библиотек, которые позволяют не профессиональным пользователям легко разработать свою программную платформу. Также использовалась свободная библиотека UPEthernet для вза-

имодействия микроконтроллера ATmega328P с Ethernet модулем ENC28J60 и создания подключения по протоколу TCP/IP к микрокомпьютеру, для передачи данных.

Для программирования микроконтроллеров сенсорных плат использовалось ПО Atmel Studio. Atmel Studio (ранее AVR Studio) – основанная на Visual Studio бесплатная проприетарная интегрированная среда разработки (IDE) для разработки приложений для 8- и 32-битных микроконтроллеров семейства AVR и 32-битных микроконтроллеров семейства ARM от компании Atmel, работающая в операционных системах Windows. Atmel Studio содержит компилятор GNU C/C++ и эмулятор, позволяющий отладить выполнение программы без загрузки в микроконтроллер [4].

Для микрокомпьютера Banana Pi M1 использовалась операционная система Ubuntu Mate 16.04, распространяемая с открытым исходным кодом. Программная часть управляющего модуля реализована с помощью языка программирования Python 3.5. Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Синтаксис ядра Python минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объём полезных функций [5]. Также при разработке использовался ряд подключаемых библиотек для решения некоторых задач:

– Для отрисовки на дисплее линий маршрута, вывода текстовой информации использовалась библиотека Tkinter. Tkinter (от англ. Tk interface) – кросс-платформенная графическая библиотека на основе средств Tk. Входит в стандартную библиотеку Python. Tkinter — это СПО, распространяемое под Python лицензией [6] На рисунке 2 показан скриншот информационного сообщения на дисплее. Дисплей системы может быть использован для показа видеорекламной информации, сообщений МЧС, дорожных служб и т.д.. Разработанная система легко масштабируется и имеет гибкий интерфейс, что позволяет легко и быстро изменить интерфейс вывода данных.

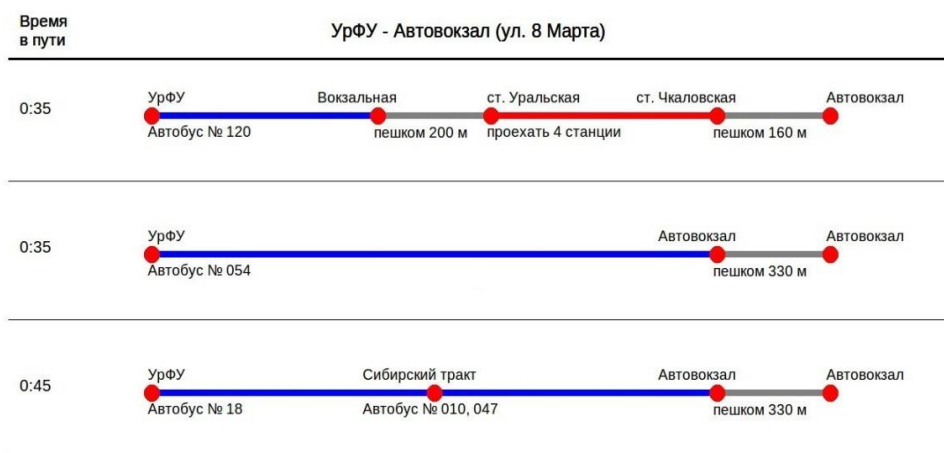


Рисунок 1 - Пример информационного сообщения на дисплее

– Для вывода голосовой информации используется синтезатор речи RNVoice. RNVoice – многоязычный синтезатор речи с открытым исходным кодом [7]. Данный программный продукт имеет множество функций, таких как: чтение из командной строки, чтение из файла, генерация аудиофайла. В данной системе RNVoice генерирует аудиофайлы из информации, содержащейся в базе данных, а на вывод воспроизводится готовый, сгенерированный аудиофайл, что позволяет снизить нагрузку на процессор микрокомпьютера.

Полностью собранный прототип представляет собой карту города с кнопками и экраном размещенном на фанерном основании (Рис. 3). На обратной стороне расположены сенсорная и коммутационная плата, управляющий модуль и динамик для воспроизведения звука.

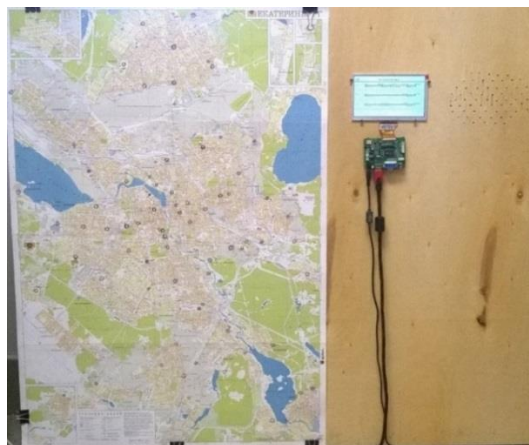


Рисунок 3 – Фронтальная сторона стенда

По сравнению с существующими аналогами система обладает рядом преимуществ.

1. Модульность. Система состоит из отдельных модулей, которые могут масштабироваться независимо как по функциональности, так и по производительности. Добавление новых компонент не затрагивает архитектурные решения смежных элементов. Модульность системы также облегчает обслуживание и ремонт. При повреждении или выходе из строя компонента или модуля производится его замена.

2. Стоимость. По сравнению с существующими аналогами, стоимость системы ниже в несколько раз. Это обеспечивается использованием простых аппаратных элементов (в том числе открытых платформ) и свободного программного обеспечения.

3. Надежность. В существующих системах используются резистивные и емкостные сенсорные экраны, подключенные к промышленным или бытовым ПК. При уличном исполнении – ПК снабжаются системами поддержания климатических условий. В данной системе используются пьезодатчики в качестве кнопок, контроллерные системы и одноплатные компьютеры, которые способны работать в широком температурном диапазоне. А использование модульного подхода с выделением к реализации простых функций встроенного ПО уменьшает риск возникновения ошибок во встроенном ПО и повышает его надежность.

4. Гибкость. В модулях сенсорной и коммутационной платы и управляющем модуле использовались открытые платформы Arduino (MCU Atmega), Raspberry/Banana Pi с большим количеством открытой документации, примеров, готовых библиотек встроенного ПО. Это позволяет снизить время и затраты на последующие модернизации и развитие комплекса.

Данная работа, основанная на открытых решениях, показала возможность быстрого изготовления работоспособных модулей промышленного оборудования на базе стека открытых и свободных программных продуктов. Необходимость применения закрытого программного обеспечения возникла только при программировании узкоспециализированного контроллера.

Таким образом, текущее состояние открытых систем, а также их дальнейшее развитие позволяет производить быструю разработку автоматизированных систем, в т.ч. сложных промышленных, с существенно более низкими временными и финансовыми затратами, чем это предлагается в традиционных, закрытых решениях.

Библиографический список

1. [Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: <http://www.banana-pi.org/m1.html>.
2. Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: <http://www.libertarium.ru/freeMERT>.
3. Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/KiCad>.
4. Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Atmel_Studio.
5. Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python#>.
6. Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Tkinter>.
7. Web-ресурс сети Интернет [сайт]. URL: <https://github.com/Olga-Yakovleva/RHVoice/>.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В СРЕДЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ARCGIS DESKTOP

Бондин Ю.А.¹, Спирин Н.А.¹, Дебенко Д.В.²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

²ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», г. Екатеринбург, Россия

Нормативные и методические документы (НМД) по анализу и оценке рисков для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий [1-3], разработанные ПАО «Газпром» с целью обеспечения стабильного функционирования единой системы газоснабжения, служат основой для внедрения современных инновационных методов планирования диагностики, технического обслуживания и ремонта (ДТОиР) линейной части (ЛЧ) магистральных газопроводов (МГ).

До последнего времени в ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» при планировании ДТОиР ЛЧ МГ рассматривались только показатели их технического состояния, и не учитывался потенциально возможный ущерб, в случае аварий. Оценка техногенных рисков производилась специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» независимо от газотранспортного общества. Это приводило к тому, что предложения разработанные ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» по проведению ДТОиР ЛЧ МГ, могли существенно отличаться от того перечня ремонтируемых объектов, который окончательно утверждался в ПАО «Газпром».

Для корректного планирования ДТОиР на ЛЧ МГ, с учетом требований НМД [1-3], в среде геоинформационной системы ArcGis Desktop был разработан расчетно-аналитический модуль (РАМ) «Риск», который позволяет определять зоны поражения и величину техногенного риска в случае аварий на ЛЧ МГ.

В соответствии с НМД [2] обоснование приоритета вывода в ремонт участка ЛЧ МГ производится путем формирования двух уровней техногенного риска эксплуатации объекта $H_{расч}^{ру\ ЛЧМГ}(t)$: недопустимого $H_{нд}^{ру\ ЛЧМГ}$ и приемлемого $H_{пр}^{ру\ ЛЧМГ}$ ожидаемого годового ущерба в зависимости от интервала ожидаемой удельной частоты аварий на участке ЛЧ МГ.

$$H_{расч}^{ру\ ЛЧМГ}(t) > [H_{нд}^{ру\ ЛЧМГ}] \text{ недопустимый уровень}$$

$$[H_{пр}^{ру\ ЛЧМГ}] < H_{расч}^{ру\ ЛЧМГ}(t) < [H_{нд}^{ру\ ЛЧМГ}] \text{ приемлимый уровень}$$

$$H_{расч}^{ру\ ЛЧМГ}(t) < [H_{пр}^{ру\ ЛЧМГ}] \text{ незначительный уровень}$$

$$[H_{нд}^{ру\ ЛЧМГ}] = 15000 \text{ руб./}(\text{км} \cdot \text{год})$$

$$[H_{пр}^{ру\ ЛЧМГ}] = 2000 \text{ руб./}(\text{км} \cdot \text{год})$$

Приемлемый техногенный риск, предполагает необходимость планирования и выполнения мероприятий по техническому диагностированию участка ЛЧ МГ в пределах планового периода, а также мероприятий, направленных на снижение возможного ущерба.

Недопустимый техногенный риск, обязывает к планированию и выполнению мероприятий по снижению, как вероятности (частоты) аварии, так и возможного ущерба.

Данный критерий является основным для принятия решений при планировании ремонтов и/или реконструкции участка ЛЧ МГ.

Прогнозирование ожидаемых частот аварий на ЛЧ МГ проводится в соответствии с Разделом №7 НМД [3].

В соответствии с пунктом 5.5.4 НМД [1] на ЛЧ МГ рекомендуется учитывать 3 расчетных группы сценариев аварий, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Набор расчетных сценариев аварий на ЛЧ МГ

Название расчетного сценария	Поражающие факторы
C_1 Пожар в котловане	Разлет осколков, воздушная волна сжатия, тепловое излучение от пламени
C_2 Струевые пламена	Разлет осколков, воздушная волна сжатия, прямое воздействие пламени, тепловое излучение от пламени
C_3 Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа	Разлет осколков, воздушная волна сжатия

В соответствии с пунктом 5.6.2 НМД [1] для определения условных вероятностей загорания/незагорания газа на ЛЧ МГ, а так же для определения характера истечения газа рекомендуется использовать статистические данные по относительным частотам при разрыве МГ, зависящим от его условного диаметра.

Условные вероятности, рассчитанные для МГ диаметром $D_y=1400$ мм в соответствии с рисунком 5.7 [1], представленные на рисунке 1.

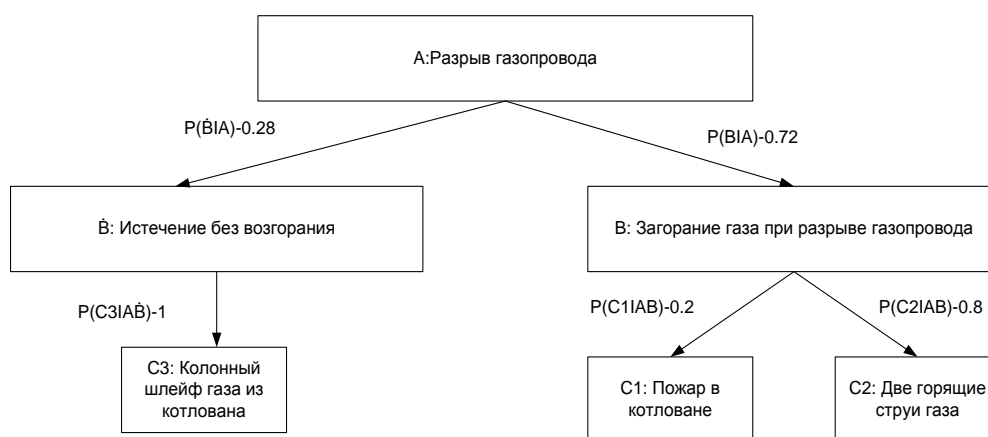


Рисунок 1 - Дерево событий для идентификации аварий на МГ

Для каждого выбранного сценария определяются возможное количество имущественных и природных компонентов уничтоженных или поврежденных в результате аварии на выделенном потенциально-опасном участке (ПОУ).

При оценке негативного воздействия на объекты используется характеристический критерий поражающего воздействия. Данный критерий задается путем указания пороговых значений основной физической характеристики поражающего фактора соответствующей разрушению объектов. Пороговые значения поражающих факторов в соответствии с НМД [1] приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Пороговые значения поражающих факторов

Название расчетного сценария	Пороговые значения превалирующих поражающих факторов
C_1 Пожар в котловане	7 кВт/м ² для наружных установок, лесных насаждений, зданий и сооружений
C_2 Струевые пламена	35 кВт/м ² для подземных коммуникаций
C_3 Рассеивание низкоскоростного шлейфа газа	7 МПа для наружных установок

При попадании объекта в любую из этих зон он учитывается как пораженный, и стоимость

его восстановления добавляется к общей сумме материального ущерба на выделенном ПОУ.

По алгоритмам, изложенным в пункте 5.12 НМД [1], на территории, прилегающей к ПОУ, строится расчетная сетка, в узлах которой определяются значения потенциального риска, как это показано на рисунке 2.

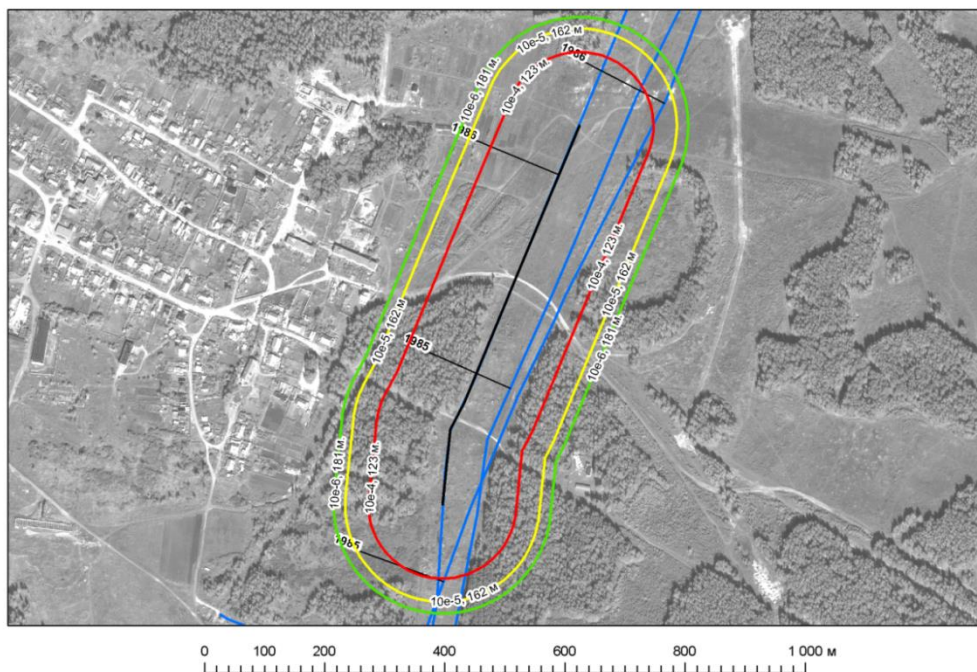


Рисунок 2 - Распределение потенциального риска

Интерфейс РАМ «Риск» представляет собой панель, встроенную в среду геоинформационной системы ArcGis Desktop, состоящую из набора команд и инструментов, как показано на рисунке 3.

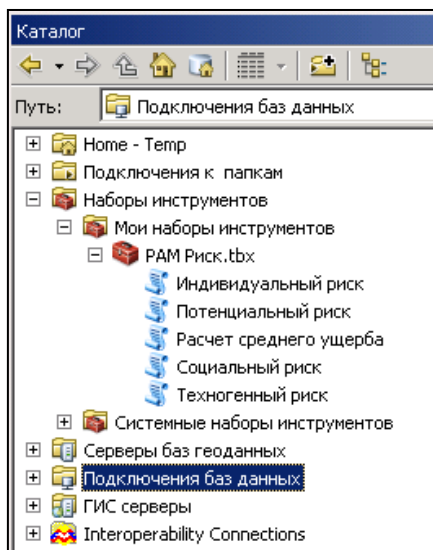


Рисунок 3 - Набор команд и инструментов РАМ «Риск»

Модуль РАМ «Риск» имеет следующие функциональные возможности: построение полей зон поражения в выбранной точке участка МГ; расчет индивидуального риска в выбранной точке вблизи участка МГ; расчет среднего ущерба и техногенного риска на выбранном участке МГ.

Исходными данными для расчетов в РАМ «Риск» служат: отчеты по внутритрубной дефектоскопии; данные собранные специалистами Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» по форме, заявленной в таблице 5 НМД [3], а также про-

пространственные данные, получаемые на основе топографических карт, по результатам топографо-геодезических работ и аэро-космического мониторинга.

На первом этапе производится оцифровка (векторизация) объектов окружения и объектов ЛЧ МГ, которые затем публикуются на геопортале ArcGis Desktop для заполнения атрибутивных данных. На основании заполненных характеристик объектов определяется их конечная стоимость. Далее добавляется информация о техническом состоянии участка ЛЧМГ. На последнем этапе происходит расчет риска.

Оцифровка и управление пространственными данными осуществляется в геоинформационной системе ArcGis Desktop, хранение и публикация данных проводится в PostgreSQL на ArcGis Server.

Общая схема формирования пространственных данных, необходимых в качестве исходной информации для РАМ «Риск», представлена на рисунке 4.

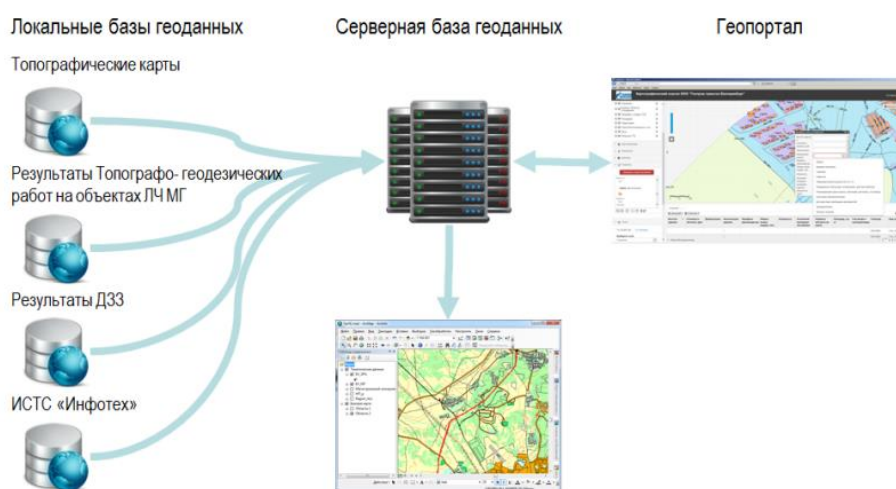


Рисунок 4 - Общая схема формирования пространственных данных

Разработанный РАМ «Риск» позволил рассчитать количественные оценки техногенных рисков для всей ЛЧ МГ ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», что стало основой для формирования корректных и обоснованных планов ДТОиР ЛЧ МГ.

Основными направлениями дальнейшего расширения функциональных возможностей РАМ «Риск» является совершенствование его алгоритмов для повышения скорости вычислений, верификация и формализация подходов к определению стоимостных характеристик объектов окружения ЛЧ МГ, а также реализация возможности расчета техногенных рисков для площадных объектов (компрессорные станции, газораспределительные станции).

Библиографический список

1. СТО Газпром 2-2.3-351-2009 Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром», утвержденные распоряжением ОАО «Газпром» от 30 марта 2009 г. № 83.

2. Р Газпром 2-2.3-691-2013 Рекомендации организации. Методика формирования программ технического диагностирования и ремонта объектов линейной части магистральных газопроводов ЕСГ ОАО «Газпром», внесенные на рассмотрение Управлением по транспортировке газа и газового конденсата Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром».

3. Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на МГ ОАО «Газпром», утвержденные начальником Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром» от 27 марта 2007 г.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕХАНИЗМА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ЦЕХА НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННО-НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Принятие решения о целесообразности и способах рационального выполнения поступивших заказов предлагается осуществлять посредством нормативного моделирования работы цеха и прогнозирующего оценивания соответствующих технико-экономических показателей. Далее рассматривается задача интерактивного планирования работы прокатного цеха, исходя из поступивших и ожидаемых заказов, а также прогнозирования вариантных значений технико-экономических показателей и выбора рационального варианта производственной программы, рекомендуемой к реализации.

Постановка задачи

Задано: объект управления – действующая производственная система (прокатный цех) – ДПС;

- интервал планирования – месяц $\Delta_{i\bar{v}} = (\Theta_{i\bar{v}} - \Theta_0)$,

где $\Theta_0, \Theta_{i\bar{v}}$ – момент начала и окончания интервала планирования;

Θ^* – момент планирования, $\Theta^* < \Theta_0$;

- множества Z^* поступивших на момент Θ^* заказов, $Z(\Theta^*)$ и \widehat{Z} ожидаемых заказов на $(j+1)$ интервал $\Delta_{i\bar{v}}(j+1)$:

$$Z^*(j+1) = Z(\Theta^*) \cup \widehat{Z}(j+1);$$

$$Z = \{ Z_1, \dots, Z_n, \dots, Z_N \}; \quad \widehat{Z} = \{ \widehat{Z}_1, \dots, \widehat{Z}_m, \dots, \widehat{Z}_M \}.$$

- объемы $ВП_1^Z(j+1)$ заказов на выпуск i -й продукции и по всем видам продукции $ВП^Z(j+1) = \{ ВП_i^Z(j+1) \mid i=1,2,\dots,I_{j+1} \}$ на планируемый $(j+1)$ -ый месяц;

- показатели эффективности работы прокатного цеха: издержки производства, прибыль, рентабельность, объем продаж, производительность труда и др.

Требуется: оценить эффективность функционирования производственной системы (цеха) на интервал $T_{m\bar{v}}(j+1)$ планирования при выполнении поступивших или прогнозируемых заказов на заданный объем выпуска продукции по сортаменту.

Для решения поставленной задачи предлагается предварительно разработать нормативно-обоснованную (именуемую в дальнейшем как стандартную) производственную программу и на ее основе определить нормативные технико-экономические показатели (ТЭП). При этом необходимо создать нормативную базу производственных и экономических показателей путем построения нормативных ситуационных моделей работы ПС, которые включают в себя:

- технологические маршруты изготовления i -й продукции;

- ситуационные нормативы функционирования ДПС, методика построения которых представлена в работах [1 – 2]: часовая производительность цеха при выпуске i -й продукции (технически возможная, нормативная) $P_i^{TB(H)}$, т/ч; нормативные коэффициенты использования оборудования при выпуске i -й продукции; удельные нормы расхода металла для i -й продукции K_i , т/т; нормативные коэффициенты трудности производства i -й продукции k_{mpi} ; нормы расхода валков прокатных клетей $H_{\text{вк}}$, кг/т; нормативные и регламентированные продолжительности текущих простоев $ТПР^{(p)}$ по группам причин (технические $t_{\delta}^{(d)}$, технологические

$t_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}^{i\dot{\alpha}}$, на перевалку валков $t_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}}^i$, организационные $t_{i\dot{\alpha}}^i$), ч;

- дополнительная нормативная информация: удельные нормы расхода и цены на материальные, топливно-энергетические ресурсы; стоимость основных и оборотных средств; численность персонала, в том числе производственных рабочих; нормы амортизации оборудования; условно-постоянные и переменные доли затрат по статьям себестоимости продукции;

- документы, регламентирующие работу цеха: графики ремонтов, технологические и должностные инструкции, положение о заработной плате;

- перечень основных технико-экономических показателей (ТЭП) работы цеха: производительность и фонд времени работы цеха, выпуск продукции, себестоимость и рентабельность продукции, производительность труда, объем продаж, прибыль и др.;

- лицо, способное формировать варианты программы работы цеха (ЛФПР) и лицо, ответственное за принятие решений (ЛПР).

Таким образом, предлагаемый метод построения прогнозной рациональной производственной программы работы цеха включает следующие этапы: синтез, в режиме диалога «плановик-компьютер», нормативно-обоснованной (стандартной) производственной программы; расчет нормативных значений себестоимости продукции, прибыли и других основных ТЭП, исходя из поступивших заказов и установленных нормативов работы цеха; проверка соответствия общего объема поступивших заказов $\hat{A}\ddot{I}^Z$ нормативно-стандартному объему производства $\hat{A}\ddot{I}^i$ и формирование инициируемых плановиком ситуационных вариантов организации работы цеха; нормативно-прогнозный расчет значений множества ТЭП для каждого ситуационного варианта и выбор лицом, принимающим решение рационального варианта производственной программы работы цеха.

Процедура решения сформулированной задачи включает следующие действия, представленные на рисунке 1.

1. Ввод нормативно-технических и экономических данных, объемов поступивших заказов на предстоящий месяц, $Z^*(j+1)$; $\{ \text{ВП}_i^Z(j+1), i \in I_{j+1} \}$ с указанием профилеразмеров, марок стали, в соответствии с ГОСТ, ТУ i -й продукции.

2. Формирование сортамента $S_0^Z(j+1)$ и объемов $\hat{A}\ddot{I}_i^Z(j+1)$ выпускаемой продукции на основе поступивших заказов, ранжированных по важности, отражающей срочность, продолжительность выполнения и доставки, а также количество и тоннаж заказов потребителей.

3. Разработка нормативно обоснованной производственной программы (НОП) и расчет ее основных показателей на основе многовариантного распределения сортамента по сменам месяца с учетом поступивших заказов Z^* , нормативной базы, включающей фонд времени и ситуационные производительности цеха для i -й продукции (технически возможные $P_i^{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}$ и нормативные P_i^i).

3.1 Формирование вариантов $\beta = \{1, 2, \dots, m\}$ рационального распределения сортамента по сменам, суткам и неделям месяца в режиме человеко-машинного (диалогового) взаимодействия, исходя из важности заказов и ретроспективного анализа сменно-суточной документации за предыдущие месяцы.

3.2 Многовариантный расчет фонда времени работы цеха (нормативного $\Phi\text{В}_\beta^H$ и регламентированного $\Phi\text{В}_\beta^P$):

$$\Phi\text{В}_\beta^{H(p)} = \text{НВ}^{H(p)} - \text{ТПР}_\beta^{H(p)}, \text{ ч}; \quad \text{НВ}^{H(p)} = \text{КВ} - \text{КР}^H - \text{ППР}^{H(p)}, \text{ ч}; \quad \beta = \overline{1, m}$$

где КВ и НВ – календарное и номинальное время работы цеха, ч;

КР , ППР и ТПР – продолжительность капитального, предупредительных ремонтов и текущих простоев.

Вначале проводится расчет нормативного (регламентированного) фонда времени работы цеха на смену с учетом продолжительности текущих простоев по следующим группам причин: технические, связанные с мелким ремонтом и содержанием оборудования, $t_0^{(d)}$; технологические, связанные с настройкой оборудования при переходе с одного сортамента на другой, $t_{\alpha x}^{(d)}$; организационные, связанные с приемом и сдачей смены, $t_{i\delta}^{(d)}$; независимые от цеха (внешние), например, связанные с отсутствием заказов на продукцию, t_{ic} .

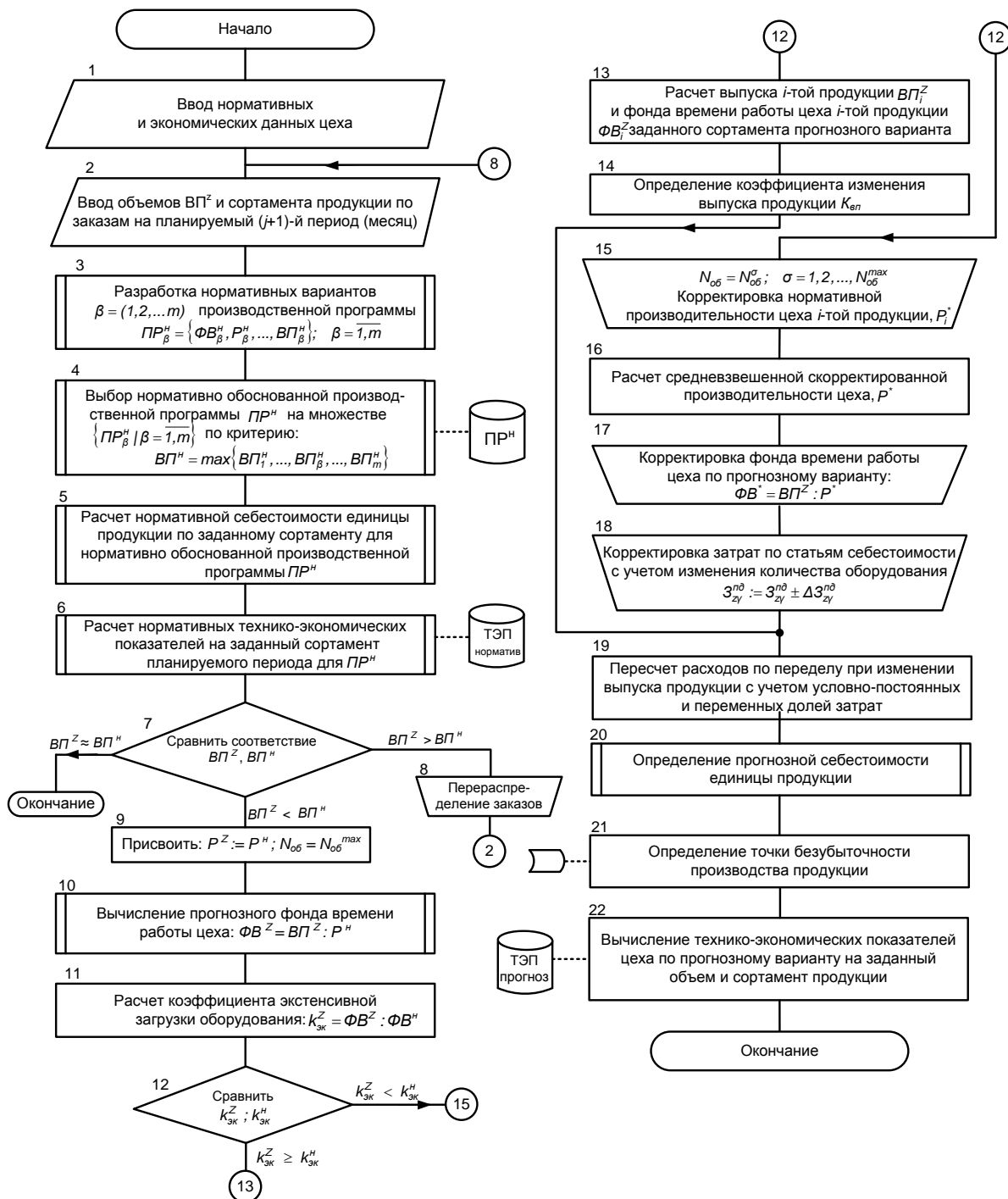


Рисунок 1 – Процедура формирования производственной программы и прогнозирования технико-экономических показателей прокатного цеха

Затем нормируется продолжительность текущих простоев на периоды: сутки (с учетом количества смен, $cm_{сут} = 2$); неделя (с учетом количества смен, $cm_{нд} = 14$); месяц (с учетом количества недель: $nd_{мц31} = 4,43$; $nd_{мц30} = 4,29$; $nd_{мц28} = 4,0$).

При нормировании текущих простоев работы цеха на неделю учитываются следующие факторы: продолжительность перевалки валков по износу; например, в неделю осуществляется одна перевалка продолжительностью $t_{\text{прв}}^{\text{нд}}$; одновременно с перевалкой валков осуществляется ремонт и содержание вспомогательного оборудования (холодильника, ножниц и др.), при этом корректируется продолжительность текущих простоев по техническим причинам: $t_{\text{т}}^{\text{нд.к}} = t_{\text{т}}^{\text{нд}} - t_{\text{прв}}^{\text{нд}}$.

В результате формируются текущие простои на неделю для каждого варианта β :

$$\text{ТПР}_{\beta}^{\text{нд.к}} = t_{\text{т}}^{\text{нд.к}} + t_{\text{тх}}^{\text{нд}} + t_{\text{ор}}^{\text{нд}} + t_{\text{прв}}^{\text{нд}}; \quad \beta = \overline{1, m}.$$

Необходимость замены валков (в связи с их износом) определяется по планируемому общему выпуску продукции за неделю ($\text{ВП}_{\text{нд}}^*$) с учетом нормативного объема продукции производимой на одном комплекте валков $\text{ВП}_{\text{к.вл}}^{\text{н}}$, и сходя из условий:

- если $\text{ВП}_{\text{к.вл}}^{\text{н}} \geq \text{ВП}_{\text{нд}}^*$, то необходима замена валков, при этом следует учесть нормативную продолжительность текущих простоев на перевалку и осуществить корректировку ФВ^н;

- если $\text{ВП}_{\text{к.вл}}^{\text{н}} < \text{ВП}_{\text{нд}}^*$, то фонд времени работы цеха не корректируется.

При нормировании текущих простоев цеха за месяц учитываются также следующие факторы:

- продолжительность перевалок в месяц, исходя из норматива их количества за неделю:

$$t_{\text{прв}}^{\text{мц}} = t_{\text{прв}}^{\text{нд}} \cdot N_{\text{нд}}^{\text{п}}$$

- корректировка продолжительности текущих простоев по техническим причинам:

$$t_{\text{т}}^{\text{к.мц}} = t_{\text{т}}^{\text{мц}} - (t_{\text{т}}^{\text{см}} \cdot N_{\text{нд}}^{\text{п}})$$

Кроме этого, на неделю и месяц нормируется продолжительность предупредительных ремонтов.

3.3 Расчет нормативного выпуска продукции и производственной мощности цеха на месяц при условии нормативной и максимальной загрузки и полного использования всех единиц оборудования $N_{\text{об}}$ (для вариантов $\beta = \overline{1, m}$ распределения сортамента):

$$\text{ВП}_{\beta}^{\text{н}} = P_{\text{ср}}^{\text{н}} \cdot \text{ФВ}_{\beta}^{\text{н}}, \text{ т}; \quad \text{ПМ}_{\beta}^{\text{н}} = P_{\text{ср}}^{\text{тв}} \cdot \text{ФВ}_{\beta}^{\text{п}}, \text{ т}; \quad \beta = \overline{1, m}$$

3.3.1 Расчет средней технически возможной (нормативной) производительности цеха на поступивший или ожидаемый сортамент:

$$P_{\text{ср}\beta}^{\text{тв(н)}} = \sum_{i=1}^I a_i^Z \cdot P_{i\beta}^{\text{тв(н)}}, \text{ т/ч}$$

3.3.2 Определение доли i -й продукции в общем объеме заказов на период (месяц):

$$a_i^Z = \text{ВП}_{i\beta}^Z : \text{ВП}^Z; \quad i = 1, 2, \dots, I_{j+1}$$

3.4 Расчет нормативного и максимального объема выпуска i -ой продукции (по вариантам распределения сортамента):

$$\text{ВП}_{i\beta}^{\text{н}} = a_i \cdot \text{ВП}_{\beta}^{\text{н}}; \quad \text{ПМ}_{i\beta} = a_i \cdot \text{ПМ}_{\beta}; \quad \beta = \overline{1, m}$$

3.5 Расчет нормативного и регламентированного фонда времени работы цеха для i -й продукции (по вариантам распределения сортамента):

$$\Phi B_{i\beta}^H = \frac{B\Pi_{i\beta}^H}{P_{i\beta}^H}, \text{ ч;} \quad \Phi B_{i\beta}^P = \frac{ПМ_{i\beta}}{P_{i\beta}^{TB}}, \text{ ч;} \quad \beta = \overline{1, m}$$

3.6 Выбор нормативно обоснованной производственной программы (НОП) на множестве разработанных вариантов $\beta = \{1, 2, \dots, m\}$, исходя из наибольшего нормативного выпуска продукции $\hat{A}\ddot{I}^i$ за месяц:

$$B\Pi^H = \max_{\beta} \{ B\Pi_1^H, \dots, B\Pi_{\beta}^H, \dots, B\Pi_T^H \}.$$

4. Расчет нормативной себестоимости продукции для НОП.

4.1 Расчет нормативной себестоимости единицы i -й продукции:

$$\begin{aligned} C_i^{np} &= Z_i^{zbo} + Z_i^{pd}; & Z_i^{zbo} &= Z_i^z - Z_i^{otx}; & Z_i^z &= K_{pi}^H \cdot \Pi_i^z; \\ Z_i^{otx} &= (K_{pi}^H - 1) \cdot \Pi_i^{otx}; & Z_i^{pd} &= K_{tp,i}^H \cdot Z^{pd}; & C_i^n &= C_i^{np} \cdot Z_{ki} \end{aligned}$$

где \tilde{N}_i^i и C_i^{np} - производственная и полная себестоимость i -й продукции, руб/т;

Z_i^{zbo} и Z_i^{pd} - затраты статей себестоимости «задано металла в производство за вычетом отходов» и «расходы по переделу» для i -й продукции, руб/т;

C_i^z и Z_i^{otx} - затраты статей «задано металла в производство» и «отходы металла», руб/т;

$\hat{E}_{\delta i}^i$ - расходный коэффициент металла i -й продукции, т/т;

\ddot{O}_i^z и Π_i^{otx} - цены заданного в производство металла и отходов i -й продукции, руб/т;

$K_{tp,i}^H$ - нормативный коэффициент трудности i -й продукции;

Z^{pd} - общие затраты по статье «расходы по переделу» на единицу продукции, руб/т;

Z_{ki} - затраты, учитывающие внепроизводственные расходы.

4.2 Расчет нормативных затрат на производство единицы продукции по статье «задано без отходов» с учетом сортамента за смену (сутки, месяц).

Затраты на производство i -й продукции за смену: $Z_{cmi}^{zbo} = Z_i^{zbo} \cdot B\Pi_i$, руб.

Суммарные затраты на производство продукции за смену: $Z_{cm}^{zbo} = \sum_{i=1}^I Z_{cmi}^{zbo}$, руб.

Затраты на единицу продукции с учетом сортамента за смену:

$$Z^{zbo} = \frac{Z_{cm}^{zbo}}{B\Pi_{cm}}, \text{ руб/т;} \quad B\Pi_{cm} = \sum_{i=1}^{I_{cm}} B\Pi_i, \text{ т.}$$

4.3 Расчет нормативной производственной себестоимости единицы продукции за смену (сутки, месяц):

$$C_{np} = Z^{zbo} + Z^{pd}, \text{ руб/т}$$

5. Расчет нормативной прибыли (валовой $\hat{I}_{\delta i}^a$ и чистой $\hat{I}_{\delta i}^c$) от реализации товарной продукции:

$$Pr_i^B = (\Pi_i - C_i^n) \cdot B\Pi_i; \quad \Pi_i = C_i^n \cdot K_{np}^H; \quad Pr_i^c = Pr_i^B - Нл$$

где Π_i - цена i -й товарной продукции, руб/т;

K_{np}^H - нормативный коэффициент рентабельности i -й продукции;

$Нл$ - налог на прибыль, руб.

Другие технико-экономические показатели нормативно обоснованной производственной программы определяются с использованием общепринятых соотношений.

б. Оценка прогнозных значений технико-экономических показателей, соответствующих

щих объему производства по заказу $ВП^Z$ на $(j + 1)$ -й месяц.

6.1 Проверка соответствия общего объема поступивших и ожидаемых заказов на месяц $ВП^Z$ нормативному объему производства $ВП^H$ продукции заданного сортамента и выбор рациональных плановых решений по правилам:

- если $ВП^Z < ВП^H$, то осуществляется корректировка нормативных значений фонда времени и производительности в зависимости от модуля отклонения $|\Delta ВП^Z| = |(ВП^Z - ВП^H)|$ с учетом возможных производственных ситуаций;

- если $ВП^Z \approx ВП^H$, то в качестве прогноза принимаются нормативные значения $ФВ^H, P^H$;

- если $ВП^Z > ВП^H$, то возможны следующие варианты планирования работы цеха:

а) при $ВП^Z > 1,1 ВП^H$, принять для планируемого $(j+1)$ -ого месяца $ВП^Z = ВП^H$, а избыточные объемы заказов $\Delta ВП^Z = (ВП^Z - ВП^H)$ отнести на следующий период (месяц);

б) при $ВП^Z \in (1,05 \div 1,1) ВП^H$ запланировать заказы на $(j + 1)$ -й период (месяц) и выполнить их за счет внутренних организационно-технических резервов цеха с учетом осуществления следующего ограничения: $ВП^Z \leq ПМ$.

Для условия $ВП^Z < ВП^H$ определяется прогнозный фонд времени на выполнение заказов: $ФВ^Z = ВП^Z / P_{cp}^H$, ч. При $ФВ^Z < ФВ^H$ определяется отклонение: $\Delta ФВ^Z = ФВ^Z - ФВ^H$.

Номинальное время работы цеха на выполнение поступивших заказов с учетом количества функционирующего основного и вспомогательного оборудования, вычисляется по формуле: $НВ^Z = КВ - ППР^Z$.

Экспертная корректировка нормативной длительности $ТПР^H$ текущих простоев цеха проводится по группам их причин: технических - t_t^* ; технологических - $t_{тх}^*$ и связанных с перевалкой валков - $t_{прв}^*$. Суммарная продолжительность скорректированных текущих простоев дополняется нормативными простоями по организационным причинам:

$$ТПР^* = t_t^* + t_{тх}^* + t_{прв}^* + t_{ор}^H, \text{ ч}$$

Текущие простои по независящим от цеха причинам (например, отсутствие заказов) определяются по условиям:

$$t_{нз}^* = \begin{cases} ТПР^Z - ТПР^*, & \text{при } ТПР^Z > ТПР^* \\ 0, & \text{при } ТПР^Z = ТПР^* \end{cases}$$

6.2 Расчет прогнозного выпуска продукции и фонда времени работы цеха для i -й продукции:

$$ВП_i^Z(j+1) = a_i \cdot ВП^Z(j+1); \quad ФВ_i^Z(j+1) = \frac{ВП_i^Z(j+1)}{P_i^H}$$

В случае значительного снижения объема заказов $ВП^Z$ (по отношению к нормативному объему $ВП^H$) корректируется не только нормативный фонд времени, но и нормативная производительность цеха с учетом вариантных сценариев его работы, различающихся количеством функционирующего основного и вспомогательного оборудования, интенсивностью технологических процессов.

6.3 Расчет прогнозной себестоимости единицы i -й продукции.

Проводится пересчет «расходов по переделу» статей $\gamma \in \Gamma$ себестоимости для $(j + 1)$

периода с учетом коэффициента $K_{\text{вп}}$ снижения выпуска продукции:

$$Z_{Z\gamma}^{\text{пл}} = \frac{A_{\gamma} \cdot Z_{\gamma}^{\text{пл}}}{K_{\text{вп}}} + B_{\gamma} \cdot Z_{\gamma}^{\text{пл}}, \text{ руб/т} \quad K_{\text{вп}} = \frac{\text{ВП}^Z}{\text{ВП}^H}$$

где A, B – доли условно-постоянных и переменных затрат ($A_{\gamma} + B_{\gamma} = 1$).

В случае изменения количества работающего оборудования производится корректировка соответствующих статей себестоимости. Например: топливно-энергетические затраты; ремонтный фонд; амортизационные отчисления; износ сменного оборудования; содержание основных средств; фонд заработной платы производственных рабочих с отчислениями в единый социальный налог (при сокращении численности в зависимости от количества функционирующего оборудования).

6.4 Расчет прогнозных значений прибыли, объема продаж и других технико-экономических показателей работы цеха.

7. *Принятие решения* ЛПР по выбору рациональной (компромиссной на заданном множестве ТЭП) производственной программы, ориентированной на выполнение поступивших или ожидаемых объемов $\hat{A} \dot{I}^Z$ по заказам на основе сравнительного анализа результатов прогнозирования технико-экономических показателей для предлагаемых ситуационных вариантов $\{1, 2, \dots, N_s\}$ организации работы цеха и их влияния на финансово-хозяйственную деятельность предприятия.

Разработанные формульно-алгоритмические модели показателей для оценки эффективности нормативных и прогнозных вариантов функционирования прокатных цехов позволили сформировать ситуационную нормативную базу технико-экономических показателей для некоторых прокатных производств (рельсобалочного, сортопрокатного).

Выводы. Задача календарного планирования работы прокатного цеха отнесена к классу слабо структурируемых задач принятия регулярных решений и сформулирована как задача многокритериальной оптимизации при неполной исходной информации. Процедура решения задачи основана на интерактивном формировании нормативно обоснованной программы работы цеха, нормировании и прогнозировании основных технико-экономических показателей с учетом поступивших и ожидаемых заказов на металлопрокат. Апробация процедуры выполнена на примере решения задачи планирования для прокатного цеха конкретного металлургического предприятия.

Библиографический список

1. Мусатова А.И., Кадыков В.Н., Кулаков С.М. Нормативное прогнозирование эффективности работы прокатного комплекса на базе тактового подхода // Научное обозрение – 2014, № 11. – С. 131 – 138.

2. Kulakov S.M., Musatova A.I., Baranov P.P. Timing Models In The Reengineering Of Metallurgical Production Systems / S.M. Kulakov, A.I. Musatova, P.P. Baranov // Steel in translation. – 2015. – Vol. 45, №5. – P. 338 – 346.

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ НЕУСТОЙЧИВЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Медведев А.В.¹, Раскина А.В.²

¹ Сибирский государственный университет науки и техники
им. академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

² Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия

Рассматривается задача управления неустойчивым динамическим объектом в условиях непараметрической неопределенности об исследуемом процессе. В данном случае, априорная информация такова, что известны только качественные свойства динамического объ-

екта, такие как линейность или нелинейность (тип нелинейности), однозначность или неоднозначность и другие. Проблема управления подробно рассматривалась в работах [1-5]. Следует отметить, что в приведенных выше работах обязательным является выбор параметрической структуры модели или формирование гипотезы о наличии той или иной структуры. Совершенно ясно, что при работе с реальным процессом подобных моделей быть не может из-за эффекта неустойчивости. В этом случае, отсутствует обычный для идентификации этап, связанный с экспериментированием на объекте с целью построения модели процесса [6]. В условиях, когда не представляется возможным обоснованно выбрать вид функционала, а из априорной информации известны только качественные характеристики исследуемого процесса, в частности принадлежность последнего к классу динамических систем, естественно использовать теорию непараметрических систем управления [7,8]. Рассмотрим ниже следующую систему, представленную на рисунке 1.

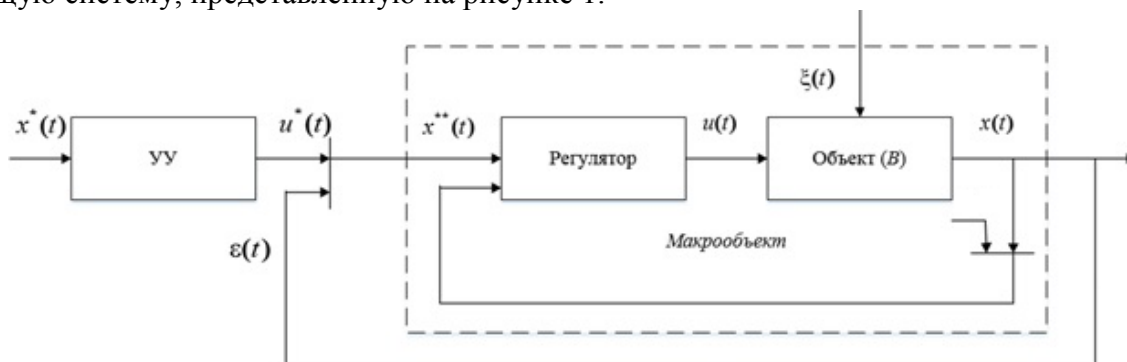


Рисунок 1 – Блок-схема управления неустойчивым объектом

Здесь B – неизвестный оператор неустойчивого объекта, Регулятор – типовое устройство регулирования, УУ – непараметрическое устройство управления (внешний контур), $u(t)$ – управляющее воздействие, поступающее на вход неустойчивого объекта со стороны типового регулятора, $x(t)$ – выходная переменная неустойчивого объекта, $x^*(t)$ – задающее воздействие, $u^*(t)$ – управляющее воздействие для макрообъекта, полученное, как непараметрическая оценка обратного оператора макрообъекта по выборке наблюдений «входных-выходных» переменных объема s , $x^{**}(t)$ – задающее воздействие для типового регулятора, $\epsilon(t)$ – невязка, равная разности между фактическим выходом объекта $x(t)$ и задающим воздействием $x^*(t)$, $\xi(t)$ – внешнее возмущение, действующее на исследуемый процесс, $h_x(t)$ – помеха в канале связи при измерении переменной $x(t)$.

Задача управления объектом B сводится к построению закона управления, реализуемого блоком регулятор и последующего синтеза алгоритма управления непараметрического УУ с целью приведения выходной переменной $x(t)$ макрообъекта к заданной величине $x^*(t)$. При этом, собственно уравнение, описывающие процесс, протекающий в объекте B остается неизвестным.

Рассмотрим идеализированную схему управления, представленную на рисунке 2 [7].

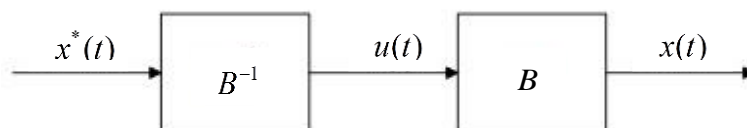


Рисунок 2 – Блок-схема управления идеализированным объектом

Здесь B – линейный оператор процесса т.е. $x(t) = B < u(t) >$. Если существует опе-

ратор, обратный B , т. е. B^{-1} , $B^{-1}B = 1$ - единичный оператор, то

$$\begin{aligned} B^{-1}x(t) &= B^{-1}B < u(t) >, \\ u(t) &= B^{-1}x(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, вид идеального регулятора (\mathcal{U} -регулятор) может быть представлен в виде (1) [7]. Используя уравнение (1), можно, задавая желаемую траекторию $x^*(t)$, получить идеальное значение управления $u^*(t)$. Однако, проблема состоит в том, что, во – первых, оператор B – неизвестен, а во-вторых, в разомкнутом состоянии управлять неустойчивым объектом невозможно, так как неустойчивые системы характеризуются незатухающими переходными процессами. Одним из путей приведения неустойчивых объектов к устойчивым, а, следовательно, и управляемому состоянию, состоит в охвате их отрицательной обратной связью [9] (рисунок 3).

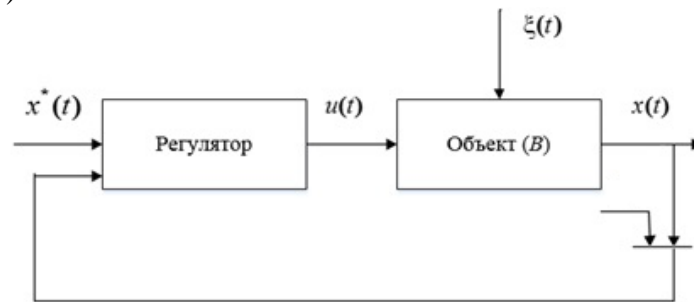


Рисунок 3 – Схема стабилизации неустойчивого динамического объекта

При этом, при стабилизации объекта важен выбор типового регулятора и соответствующих настроек. Ранее исследования Федосова Б.Т. [9] показывают, что главным элементом, обеспечивающим устойчивость замкнутого контура, неустойчивого в разомкнутом состоянии, является форсирующее звено. В условиях непараметрической неопределённости, использование ПИД- регулятора для приведения объектов к устойчивому состоянию является наиболее оправданным.

В случае, когда операторы B и B^{-1} неизвестны для описания объекта целесообразным является использование интегралов типа свертки, например, интеграла Дюамеля. Пусть объект описывается линейным дифференциальным уравнением неизвестного порядка. В этом случае при нулевых начальных условиях $x(t)$ [8]:

$$x(t) = \int_0^t h(t - \tau)u(\tau)d\tau, \quad (2)$$

где $h(t - \tau)$ весовая функция системы, являющаяся производной переходной функции $k(t)$:

$$h(t) = \frac{dk(t)}{dt}. \quad (3)$$

Известно, что обратным оператором (2) является оператор (4), в непрерывном времени имеющий вид:

$$u(t) = \int_0^t v(t - \tau)x(\tau)d\tau, \quad (4)$$

где $v(t - \tau)$ - весовая функция объекта в направлении «выход – вход» и

$$v(t) = \frac{d\omega(t)}{dt}, \quad (5)$$

где $\omega(t)$ - переходная функция системы в том же направлении. В этом случае B представлен оператором (2), а B^{-1} – выражением (4). Следовательно, теперь проблема состоит в отыска-

нии весовых функций $h(t)$ и $v(t)$. Один из возможных путей решения этого вопроса состоит 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 (2) будет иметь вид:

$$x_s(t) = \int_0^t h_s(t - \tau, \overrightarrow{k_s}, \overrightarrow{t_s}) u(\tau) d\tau, \quad (6)$$

где $\overrightarrow{k_s}, \overrightarrow{t_s}$ - являются временными векторами: $\overrightarrow{k_s} = (k_1, \dots, k_s), \overrightarrow{t_s} = (t_1, \dots, t_s)$.

Непараметрическая оценка переходной функции объекта $k_s(t)$ равна:

$$k_s(t) = \frac{1}{sC_s} \sum_{i=1}^s k_i H\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right). \quad (7)$$

Так как весовая функция $h(t)$ является производной от переходной функции $k(t)$ (3), то тогда оценку весовой функции $h(t)$ можно найти, взяв производную от оценки переходной характеристики $k_s(t)$

$$h_s(t) = k'_s(t) = \frac{1}{sC_s} \sum_{i=1}^s k_i H'\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right). \quad (8)$$

Таким образом, подставляя непараметрическую оценку весовой функции (8) в уравнение (6) получаем непараметрическую модель линейной динамической системы

$$x_s(t) = \int_0^t \frac{1}{sC_s} \sum_{i=1}^s k_i H'\left(\frac{t-\tau-t_i}{c_s}\right) u(\tau) d\tau, \quad (9)$$

Непараметрическая оценка обратного оператора объекта B^{-1} (4) является оценкой обратной весовой характеристики динамической системы $v(t)$:

$$v_s(t) = \omega'_s(t) = \frac{1}{sC_s} \sum_{i=1}^s \omega_i H'\left(\frac{t-\tau-t_i}{c_s}\right) \quad (10)$$

Подставляя оценку (10) в уравнение обратного оператора (4) получаем оценку обратного оператора линейной динамической системой

$$u^*(t) = \int_0^t \frac{1}{sC_s} \sum_{j=1}^s \omega_j H'\left(\frac{t-\tau-t_j}{c_s}\right) x^*(\tau) d\tau, \quad (11)$$

где $x^*(\tau)$ - задающее воздействие, интегрирование выражения (11) осуществляется численно.

Непараметрический алгоритм дуального управления [10], подробно описанный в [8] имеет вид:

$$u_{s+1} = u_s^* + \Delta u_{s+1}, \quad (12)$$

где u_s^* определяется по формуле (11),

Δu_{s+1} - «изучающие» поисковые шаги, которые выражаются формулой:

$$\Delta u_{s+1} = \varepsilon (x_{s+1}^* - x_s). \quad (13)$$

Параметр ε находится из условия минимума квадратичного критерия по ε :

$$R(\varepsilon) = \sum_{k=1}^s (x_{s+1}^* - x_s)^2 = \min_{\varepsilon} \quad (14)$$

Отметим, что неизвестные операторы B и B^{-1} оценивались по исходным переходным характеристикам процесса (уравнение процесса было неизвестно) в классе непараметрических статистик. Это и соответствует решению задачи дуального управления объектом в условиях непараметрической неопределенности.

Таким образом, основная идея управления неустойчивым динамическим объектом состоит во введении какого-либо регулятора, обеспечивающего устойчивость системы в целом. Так, исходная система подменяется макрообъектом, включающим в себя исследуемый объект, охваченный обратной связью. Далее вводится система непараметрического управления (внешний контур управления), обеспечивающая рациональное управление макрообъектом. К особенностям данного метода следует отнести, тот факт, что в условиях непараметрической неопределенности, когда управления объекта или его передаточная характеристика неизвестны, невозможно использование различных критериев устойчивости при подборе настроек типовых регуляторов, что значительно усложняет стабилизацию неустойчивого объекта.

Библиографический список

1. Воронков В.С. Оптимальное насыщаемое управление неустойчивым объектом // Труды международной конференции: Динамические системы: устойчивость, управление, оптимизация. г. Минск, Беларусь. 2013. С.93-96.
2. Зенков С. М., Карцев Н. М., Митришкин Ю. В. Стабилизация неустойчивого вертикального положения плазмы в токамаке Т-15. I // Автомат. и телемеханика. 2014. № 2. С. 129–145.
3. Filatov, N.M., Keuchel, U., Unbehauen, H. Dual control for an unstable mechanical plant // Control Systems, IEEE. 1996. Volume:16. Issue: 4. PP. 31 – 37.
4. Уткин В.А., Уткин А.В. Задача слежения в линейных системах с параметрическими неопределенностями при неустойчивой нулевой динамике // Автомат. и телемеханика. 2014. № 9. С. 45–64.
5. Васильев Е.М., Прокофьева Д.М.. Нечеткое управление структурно неустойчивыми объектами // Вестник воронежского государственного технического университета. 2012. Выпуск № 10-1. Том 8. С.8-12.
6. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. Москва. Наука. 1968.
7. Медведев А.В. Теория непараметрических систем. Управление 1 // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 4–9.
8. Медведев А. В. Основы теории адаптивных систем. Красноярск. Изд. СибГАУ. 2015.
9. Федосов Б.Т. О стабилизации линейных неустойчивых объектов охватом их обратной связью. [Электронный ресурс] Рудный. 2010. URL: http://model.exponenta.ru /bt/bt_1315_Stab_NeUst.htm (дата обращения: 12.10.2015).
10. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. Москва. Изд. Физматгиз, 1963.

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ ВЗАИМНО НЕОДНОЗНАЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ

Корнеева А.А., Чернова С.С., Шишкина А.В.

*Сибирский федеральный университет, институт космических
и информационных технологий, г. Красноярск, Россия*

Введение

Рассматривается задача восстановления функции по наблюдениям, когда исследуемый процесс описывается взаимно неоднозначными характеристиками. Эта задача сводится к задаче аппроксимации, главной особенностью которой является отсутствие априорной информации о параметрической структуре модели исследуемого процесса. Предлагается непараметрическая оценка взаимно неоднозначных характеристик основанных на непараметриче-

ской оценке кривой регрессии Надарая-Ватсона[1]. Приведены некоторые результаты численных компьютерных исследований.

Непараметрический подход. В основе этого подхода лежат непараметрические оценки плотности вероятности $p(x)$ по наблюдениям $x_i, i = \overline{1, s}$. Непараметрические оценки многомерной плотности вероятности по наблюдениям. [1] В частности, непараметрическая оценка плотности вероятности имеет вид:

$$P_s(x) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{1}{c_s} \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x^j - x_i^j}{c_s}\right), \quad (1)$$

где $P_s(x)$ – оценка плотности распределения элементов, s – объем выборки, k – размерность вектора x, c_s – параметр размытости, а $\Phi(v)$ – ядро – финитная колоколообразная интегрируемая с квадратом функция, удовлетворяющая условиям [1,2]:

$$0 < \Phi(v) < \infty \quad \forall v \in \mathcal{C}(v), \quad \frac{1}{c_s} \int \Phi\left(\frac{x - x_i}{c_s}\right) dx = 1, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{c_s} \Phi\left(\frac{x - x_i}{c_s}\right) = \delta(x - x_i), \quad (2)$$

При этом c_s обладает следующими асимптотическими свойствами:

$$c_s > 0, \quad \lim_{s \rightarrow \infty} s(c_s)^k = \infty, \quad \lim_{s \rightarrow \infty} c_s = 0, \quad (3)$$

В вычислительном эксперименте используются колоколообразные функции $\Phi(v)$ различных видов, пример: прямоугольное, треугольное, параболическое ядро.

Непараметрическая оценка функции регрессии по наблюдениям. Для восстановления функции регрессии $M\{y/x\}$ по наблюдениям $\{x_i, y_i, i = \overline{1, s}\}$ используем непараметрические оценки плотности вероятности (1). По определению, $M\{y/x\}$ имеет вид:

$$M\{y|x\} = \frac{\int_{\Omega(y)} yp(x, y) dy}{\int_{\Omega(y)} p(x, y) dy}, \quad (4)$$

заменяя в (4) $p(x, y)$ непараметрическими оценками (1) и используя свойство:

$$\frac{1}{c_s} \int_{\Omega(y)} y \Phi\left(\frac{y - y_i}{c_s}\right) dy = y_i, \quad i = \overline{1, s}, \quad (5)$$

легко получить непараметрическую оценку функции регрессии Надарая-Ватсона, которая для одномерного случая выглядит следующим образом:

$$Y_s(x) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \Phi\left(\frac{x - x_i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x - x_i}{c_s}\right)}. \quad (6)$$

Для случая, если x k -мерный, то непараметрическая оценка функции регрессии имеет вид:

$$Y_s(x) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_j - x_j^i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_j - x_j^i}{c_s}\right)}, \quad (7)$$

где $x_i, y_i, i = \overline{1, s}$ – выборка наблюдений,

$\Phi(v)$ – колоколообразная функция,

v – произвольная переменная,

c_s – параметр размытости.

При восстановлении взаимно неоднозначной функции регрессии оценка Надарая-Ватсона должна быть изменена следующим образом[3,4]:

$$Y_s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \Phi\left(\frac{x_t - x_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{t-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_t - x_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{t-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}, \quad (8)$$

где x_{t-1} , y_{t-1} значения координат функции регрессии на предыдущем шаге ее оценивания.

Как показали многочисленные вычислительные эксперименты целесообразно (6) несколько подкорректировать следующим образом:

$$Y_s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \Phi\left(\frac{x_t - x_i}{c_s}\right) \Phi^0\left(\frac{x_{t-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi^0\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_t - x_i}{c_s}\right) \Phi^0\left(\frac{x_{t-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi^0\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}, \quad (9)$$

где $\Phi^0(v)$ с точностью до коэффициента повторяет $\Phi(v)$, а $\Phi^0(v)=1$, если $v < 1$ и 0 в остальных случаях. В этом случае $\Phi^0(v)$ не будет влиять на ошибку восстановления, но позволит «зафиксировать» алгоритм в предыдущей точке движения при оценивании каждой последующей точки.

В случае, если x вектор размерности k : $(x_1 \dots x_k) \in R^k$, обучающая выборка в этом случае имеет вид: $x_{1i} \dots x_{ki}, y_i, i = \overline{1, s}$. При восстановлении взаимно неоднозначной функции регрессии непараметрическая оценка должна быть изменена следующим образом:

$$Y_s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_t^j - x_i^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_t^j - x_i^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}, \quad (10)$$

где x_{t-1}^j, y_{t-1}^j - значения координат функции регрессии на предыдущем шаге ее оценивания.

непараметрическую оценку (10) можно модифицировать следующим образом:

$$Y_s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \prod_{j=1}^k \Phi^0\left(\frac{x_t^j - x_i^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^k \Phi^0\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s}\right) \Phi^0\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi^0\left(\frac{x_t^j - x_i^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^k \Phi^0\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s}\right) \Phi^0\left(\frac{y_{t-1} - y_{i-1}}{c_s}\right)}, \quad (11)$$

где $\Phi^0(v)$ то же, что и выше.

Вычислительный эксперимент. При проведении вычислительного эксперимента выбирались различные взаимно неоднозначные кривые. При этом вид этих кривых для алгоритмов оставался неизвестным, они необходимы для формирования обучающих выборок. Без нарушения общности, взаимно неоднозначную характеристику зависимости $y(x)$ примем (из соображений простоты) в виде окружности.

$$x^2 + y^2 = r^2, \quad (12)$$

где r - радиус окружности.

В этом случае обучающая выборка формировалась следующим образом: произвольно задавалась начальная точка x' и вычислялось $y'(x)$ в соответствии с (12). В итоге, формировалась выборка $x_i, y_i, i = \overline{1, s}$. Обратим внимание на то, что x_i могли быть определены в результате равномерного шага Δx по $x \in \Omega(x)$ или датчика случайных чисел $x_i \in \Omega(x), i = \overline{1, s}$. В процессе компьютерного исследования использовались и другие взаимно неоднозначные ха-

рактеристики зависимости $y(x)$.

При восстановлении взаимно неоднозначной характеристики по наблюдениям, которое исследователю неизвестно, важным является вопрос о выборе направления движения, хотя в принципе оно может быть произвольным на начальной стадии. Зато все последующие изменения текущей переменной x находятся в строгой зависимости от предыдущего.

Процессы, характеризуемые взаимно неоднозначными зависимостями, имеют такую особенность, что значения $x_t, t=1,2\dots$ появляются строго последовательно в том или ином направлении. На рис. 1 представлен такой процесс. Пусть, например, на первом шаге $x=x_1$, затем x_2 и т.д. Значения x_t появляется только после x_{t-1} , то есть имеет место «движение» x_t в произвольном избранном направлении. Появление значений начинается в некоторой точке x_t и двигается последовательно, проходя точки $t_2, t_3\dots$ При этом, переход x_1 , например, к x_5 невозможен, пока не будут пройдены предыдущие четыре точки.

Таким образом, существо предложенных оценок (8,9), заключается в том, что при оценивании очередной точки, производится «фиксация» предыдущей точке в соответствующих алгоритмах (8,9).

На рисунке 1 представлен процесс, представляющий собой окружность. Движение по переменной x происходит справа налево и слева направо, что характеризует последовательное появление выборочных значений.

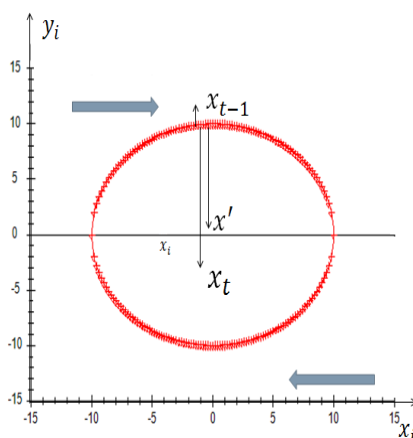


Рисунок 1 – Представлена данная выборка

На следующем шаге добавлялось случайное воздействие h на наблюдения y_i .

$$h_i = ly_i\xi, \quad (13)$$

где $\xi \in [-1,1]$, уровень помех $l = 0\%;5\%;10\%$.

В качестве критерия точности непараметрической оценки использовалось соотношение:

$$w = \frac{\sum_{i=1}^s |y_i - y_s(x_i)|}{\sum_{i=1}^s |y_i - \bar{y}|}, \quad (14)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s y_i$ - среднее арифметическое;

$y_s(x_i)$ - непараметрическая оценка;

y_i – истинная выборка, полученная по формуле (12).

Приведем результаты численного исследования, иллюстрирующие эффективность алгоритма.

В качестве колоколообразной финитной функции использовалось треугольное ядро. Алгоритм тестировался на обучающих выборках различного объема, при этом последова-

тельное увеличение объема выборки производилось путем добавления новых элементов к уже имеющимся: $s = 50, 100, 500$.

Обозначим на всех рисунках цифрой (1) – обучающую выборку, (2) – непараметрическую оценку.

Продемонстрирована работа алгоритма (8) (рисунки 2 и 3) в различных условиях: когда объем выборки равен 100 элементам; уровень помех равен 0% и 10%; эксперимент проводился в режиме скользящего экзамена.

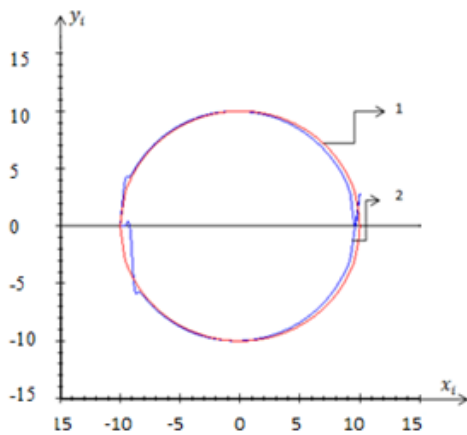


Рисунок 2 – $S=100$; $w=0,0469$

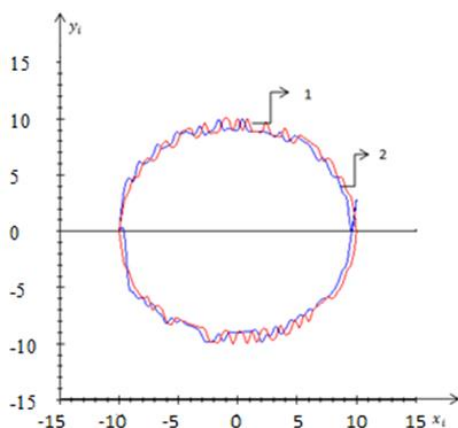


Рисунок 2 – $S=100$; $l=10\%$; $w=0.0845$

В вычислительных экспериментах также использовались и другие взаимно неоднозначные характеристики. Некоторые фрагменты исследования приведены ниже. На рисунках 4 и 5 проводился эксперимент в различных условиях: объем выборки равен 200 элементов; уровень помех равен 0 % и 10 %; эксперимент проводился в режиме скользящего экзамена.

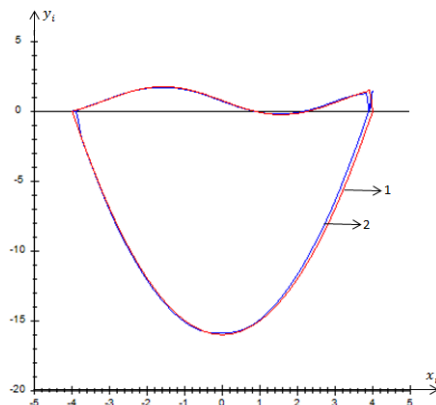


Рисунок 4 – $S=200$; $w=0,018$

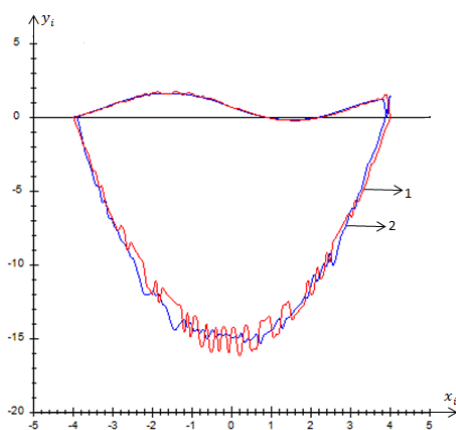


Рисунок 3 – $S=200$; $l=10\%$; $w=0,0011$

На рисунках 2 –5 хорошо видно, как зависит ошибка восстановления от уровня помех и от объема выборки для окружности и более сложной фигуры.

Продемонстрируем работу модифицированного алгоритма (9), в следующих условиях для простой функции: при уровне помех равном 10 %; с объемом выборки равным 100 элементам; в режиме скользящего экзамена. Сравнивая ошибки восстановления, смотрим рисунок 3 и рисунок 6, видим небольшое улучшение.

На рисунке 6 видим, что ошибка восстановления немного меньше, чем на рисунке 3. Значит и непараметрическая оценка стала точнее.

Также и в случае с более сложной функции на рисунке 7 видно, что ошибка восстановления немного меньше, чем на рисунке 5. Значит и непараметрическая оценка стала точнее.

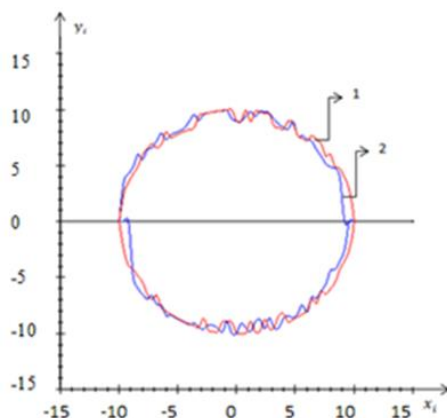


Рисунок 6 – $S=100$; $l=10\%$; $w=0,0817$

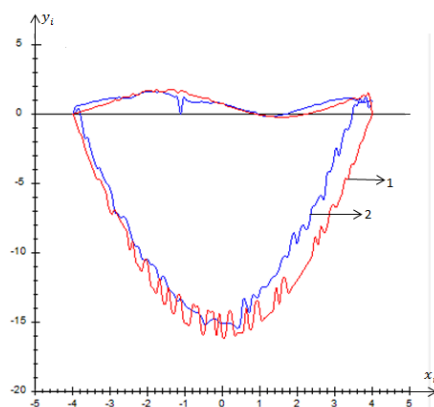


Рисунок 7 – $S=200$; $l=10\%$; $w=0,0009$

Следует отметить, что: с уменьшением ошибки восстановления (w), точность оценки

возрастает; с ростом объема выборки (s), ошибка восстановления (w) уменьшается; величина ошибки растет, при возрастании уровня помех (l).

Возможно, возникнет вопрос: «Почему для проверки работы алгоритма использовалась окружность?», ведь так много более сложных фигур, а ответ прост – особенностью данного алгоритма является его универсальность. Это значит, что алгоритму не принципиально какую функцию восстанавливать, будь то окружность, эллипс, спираль Архимеда или овал Кассини. «Закрепляясь» в предшествующей точке x_t , то есть в точке x_{t-1} и, сохраняя направление обхода, всегда можно получить непараметрическую оценку взаимно неоднозначных функций.

Заключение. Основной результат настоящей статьи состоит в введении нового класса непараметрического оценивания взаимно неоднозначных функций по наблюдениям с ошибками. Это отличает задачи непараметрического оценивания от известных непараметрических оценок функции регрессии Надарая-Ватсона. Приводятся некоторые модификации непараметрических оценок, в таких условиях обращается внимание на методику обхода введенных непараметрических оценок по траектории, определяемой элементами обучающей выборки. Восстановление взаимно неоднозначной зависимости играет важную роль при разработке роботов и различных робототехнических систем, движущихся по заранее неопределенному или неизвестному рельефу. В качестве отдельных блоков рассматриваемые алгоритмы могут быть полезны в устройствах, используемых в аэрокосмической отрасли.

Библиографический список

1. Надарая Э. А. Непараметрическое оценивание плотности вероятностей и кривой регрессии. Тбилиси: ТГУ, 1983. 194с.
2. Медведев А.В. Основы теории адаптивных систем. Красноярск: СибГАУ, 2015. 526 с.
3. Живоглазов В.П., Медведев А.В., Тишина Е.В. Восстановление неоднозначных статистических характеристик по экспериментальным данным: Автоматизация промышленного эксперимента. Фрунзе: Илим, 1973г. с.32-39
4. Чернова С.С., Шишкина А. В. О непараметрическом оценивании взаимно неоднозначных функций по наблюдениям. Молодой ученый, 2017. №25, с.13-20

МЕХАНИЗМ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОБОБЩЕНИЯ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Порядина В.Л.¹, Лихачева Т.Г.¹, Аксенова Ю.С.²

¹*Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

²*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Москва, Россия*

На современном этапе экономического и социального развития важным условием эффективного управления является усовершенствование и повышение роли научных математических методов, широко используемых для прогнозирования стратегически важных перспектив развития, экономической ситуации и планирования деятельности предприятия. Рациональность исследования и разработки процедур комплексного оценивания на основе набора из нескольких показателей предопределяется отсутствием универсального показателя для оценки результатов деятельности организации.

Комплексная оценка производственной деятельности предприятия представляет собой его характеристику, полученную в ходе комплексного исследования – изучения совокупности показателей производственных процессов, результатом которого становятся выводы о результатах деятельности организации на основе выявленных количественных и качественных отличий от базы сравнения (плана, предшествующих периодов, нормативов, других вариантов развития) [4]. Это инструмент анализа научно-технического состояния объекта, по-

казатель эффективности принятых ранее управленческих решений, средство сравнительного оценивания коммерческой деятельности предприятий и их подразделений. Но зачастую возникают ситуации, когда полученные оценки производственно-хозяйственной деятельности не оправдывают усилий, затраченных на сбор и обработку данных [2]. При увеличении количества объектов решение задачи усложняется, а сложность производственно-хозяйственной деятельности не позволяет выделить из числа обобщающих результативных показателей какой-либо один в качестве основного [2].

Задача сводится к определению комплексной оценки хозяйственной деятельности на основе агрегированной системы показателей. Руководитель каждого структурного подразделения отвечает за определенную промежуточную оценку, которая характеризует эффективность его работы. Следовательно, структура оценок, представленная в виде дерева целей, должна соответствовать организационной структуре управления предприятием, но тогда дерево целей получится излишне громоздким. При переходе к гибкой системе оценивания возможно совместить требования согласованности системы оценивания и её достаточной простоты [1].

Ее суть заключается в том, что в определенный момент времени одновременно оцениваются не все, а только самые важные (критические) показатели, требующие к себе особого внимания. Оставшиеся показатели, которые находятся в относительно хороших пределах, составляют общий фон для данной системы оценивания. За такими показателями контроль ведется в режиме обычной работы, разрабатываются меры по их дальнейшему росту. Однако, как только какой-либо показатель приближается к критической границе, он сразу же входит в состав комплексной системы оценивания.

Рассмотрим метод построения такой системы оценивания, которая будет включать новый введенный показатель. Многошаговая процедура агрегирования является особенностью дихотомического представления, причем на каждом шаге производится агрегирование только двух оценок. Такой подход позволяет решать задачу комплексной оценки деятельности по множеству критериев путем последовательного решения ряда задач с двумя критериями [4].

Пусть имеется система оценивания с деревом целей на рисунке 1.

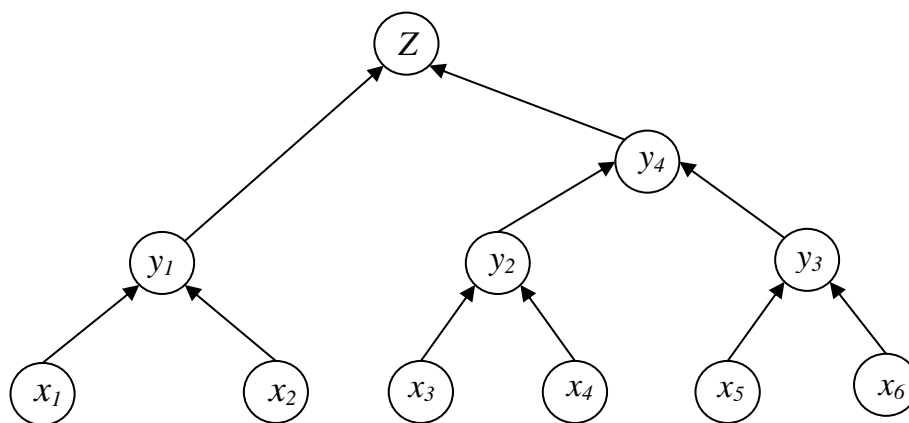


Рисунок 1 - Дерево показателей деятельности

Висячим вершинам дерева целей ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$) будут соответствовать критические показатели социально-экономического состояния предприятия: показатель x_1 соответствует отделу кадров, x_2 – административно-хозяйственному отделу, x_3 – проектно-конструкторскому, x_4 – отделу техники безопасности, x_5 – отделу снабжения, показатель x_6 – соответствует отделу оценки качества. Промежуточными вершинами y_1, y_2 и y_3 представлены обобщенные оценки работы руководителей, курирующих соответствующие группы структурных подразделений – соответственно деятельность руководителя отдела кадров, руководителя по материально-техническому обеспечению и главного инженера. y_4 будет представлять промежуточную оценку эффективности работы руководителей двух подразделений, которые курируются коммерческим директором, так как их функции близки и могут быть

объединены подобным образом. А комплексная оценка Z отражает уровень социально-экономического состояния в целом.

В определенный момент один из «фоновых» показателей x_7 (показатель деятельности отдела сбыта) приблизился к критическому уровню и был включен в систему. Он характеризует деятельность структурного подразделения, входящего в уже существующую группу, курируемую руководителем с оценкой y_3 . Более того, этот показатель близок к показателю x_5 , то есть существует такой обобщенный показатель y_5 , который отражает эффективность работы структурных подразделений x_7 и x_5 (либо показатель x_5 курирует такое же подразделение, что и x_7). Так как показатель x_5 соответствует отделу снабжения, x_6 – отделу качества, а x_7 – отделу сбыта, то логично будет объединить оценки уровня сбыта и уровня снабжения в обобщенную оценку «уровень сбыта и снабжения» (рисунок 2):

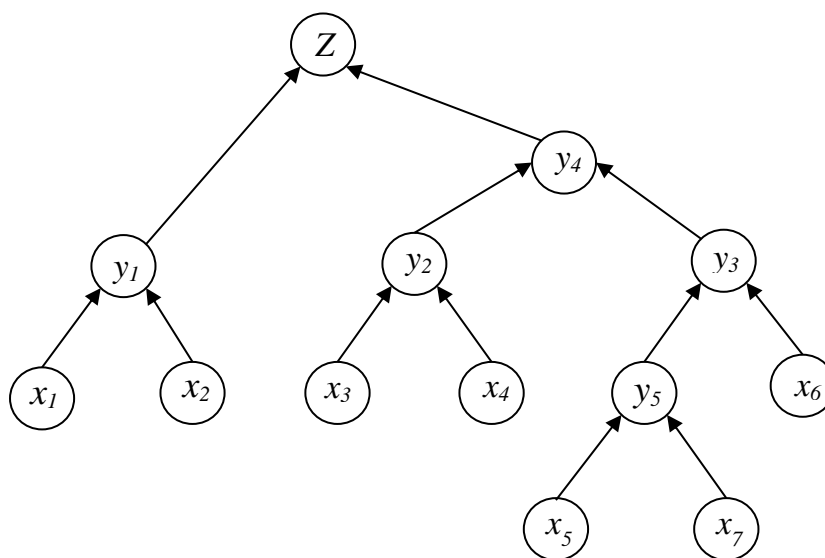


Рисунок 2 – Объединение оценок по сбыту и снабжению

На этом этапе возникает проблема построения матриц свертки (требуется построение 6 матриц, поскольку показателей 7). Так как необходимо, чтобы логические матрицы отражали приоритеты руководства, заполнение матриц происходит с обязательным участием руководителей соответствующих подразделений в качестве экспертов. [2]

Рассмотрим промежуточную структуру на рисунке 3.

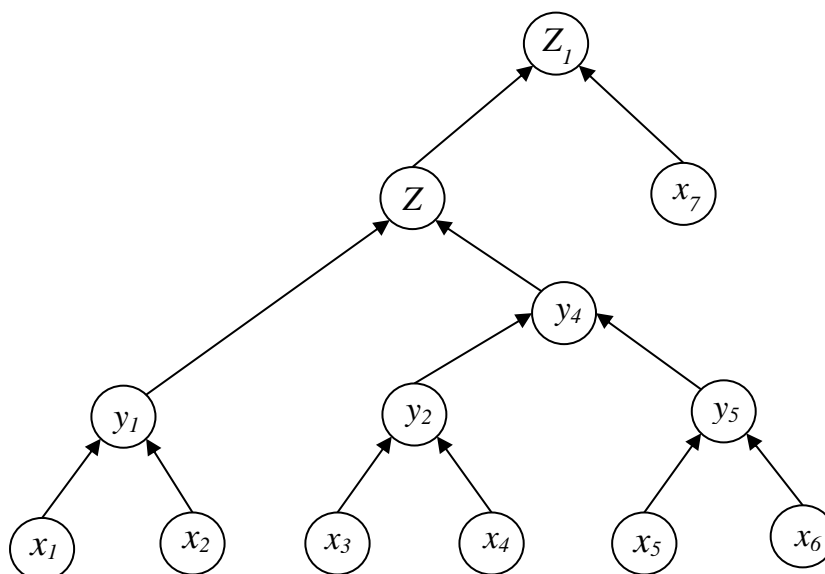


Рисунок 3 – Промежуточная структура

Для построения системы оценивания 3 нужно заполнить матрицу свертки интегральной оценки (Z) и новой оценки x_7 , чтобы перейти от системы оценивания 3 к системе 2, в которой показатели x_7 и x_5 агрегируются в обобщаемую оценку y_5 .

Для того, чтобы уменьшить расстояния между показателями x_3 и x_5 , рассмотрим один из способов преобразования структуры. Отметим, что расстоянием называют число ребер цепи между показателями x_i и x_j , которые соединяют соответствующие висячие вершины дерева, а расстояние между двумя агрегируемыми показателями равно 2 [1]. В структуре 3 расстояние между показателями x_7 и x_5 равно 5. Выделим две ветви дерева на рисунке 3 и поменяем их местами, чтобы получить структуру 4, где расстояние на единицу меньше.

Задача сводится к построению матриц $P(y_3, y_2)$, $P(x_7, y_4)$ и $P(Z, y_1)$ таким образом, чтобы при любых значениях оценок показателей x_7 , y_4 и y_1 значения интегральной оценки со структурой 4 совпадали со значением интегральной оценки системы со структурой 3.

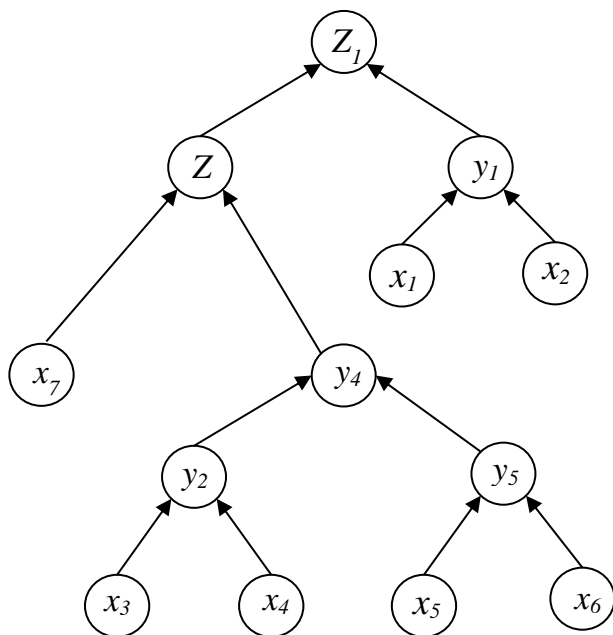


Рисунок 4 - Преобразование структуры показателей

Определим общую для всех показателей шкалу, число градаций которой равно n . Требуется определить матрицу Q с n строками и n столбцами. Строка (i,j) матрицы Q соответствует паре оценок (i,j) показателей y_4 и x_7 , а столбец k – оценке k показателя y_1 . Значение соответствующей интегральной оценки $Z1$ находится на пересечении строки (i,j) и столбца k в матрице Q . [1] Необходимо назначить веса (целые положительные числа) столбцам матрицы Q , которые в дальнейшем определяют элементы матриц. Параллельно должно выполняться условие согласования шкал: веса двух различающихся столбцов обязаны быть различными, так как при совпадении весов двух различных столбцов однозначно определить элементы матрицы $P(Z, y_1)$ невозможно [1].

Матрица $P(y_3, y_2)$ согласно схеме 3 имеет вид (рисунок 5):

y_3	1	2	3	3
	2	2	2	2
	3	1	1	2
		1	2	3
			y_2	

Рисунок 5 - Матрица свёртки

По схеме 4 построим матрицу Q.

Таблица 1 – Параметры матрицы Q

$x_7 \backslash y_2, y_3$	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
1	1	1	2	1	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2	3	2	3	3
3	2	2	2	2	2	3	2	3	3
ω	1	2	3	2	3	4	3	4	4

В последней строке укажем веса столбцов. Получили 4 различных веса, поэтому матрица Z будет иметь размерность (4x3). Окончательный вид системы комплексного оценивания 4 приведен на рисунке 6 (приведена часть системы).

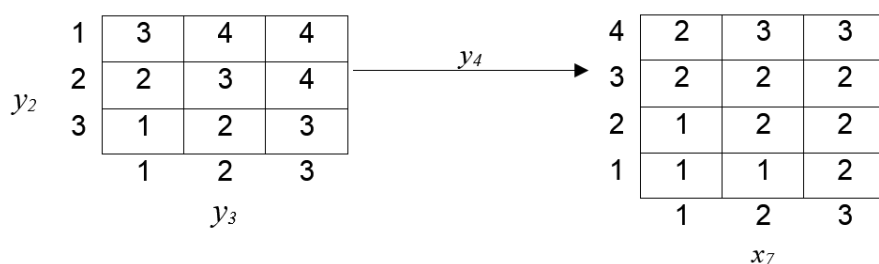


Рисунок 6 – Завершающий шаг свёртки

Данная процедура преобразования структуры обратима. Это означает, что, применяя описанный выше алгоритм, можно перейти от системы оценивания 4 к системе со структурой 3. Теперь из структуры 4 остается получить структуру 2, для чего повторим описанную процедуру еще дважды. Первый раз – поменяв местами ветку y_2 и показатель x_7 , в результате чего получим новое дерево следующего вида:

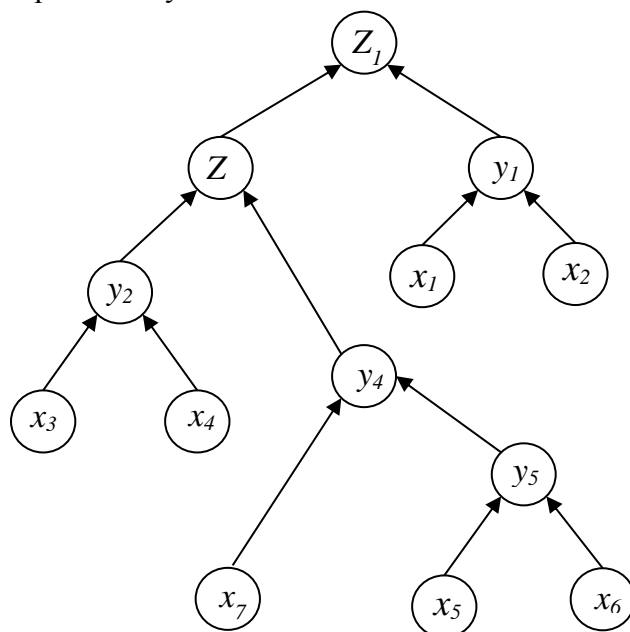


Рисунок 7 - К обратному преобразованию сруктуры

И второй раз – перейдя к схеме рисунка 2 для показателей x_5, x_6, x_7 , заменив x_6 на x_7 . Построим матрицу Q, столбцы которой соответствуют парам оценок (x_3, x_5) , а строки – оценке x_4 . Окончательный вид системы оценивания со структурой рис. 2 приведен на рис. 8

(матрица $P(x_1, x_2)$ и $P(x_3, x_4)$ исключены, поскольку оставались неизменными при всех преобразованиях). [1] Получили новую систему оценивания со структурой, эквивалентной исходной системе рис. 3. Необходимость разработки таких процедур возникает в организациях, структурные подразделения которых характеризуются набором разнородных показателей (техничко-экономических, экономических, показателей социального развития и др.), а для принятия управленческих решений необходимо комплексно оценить эффективность функционирования каждого подразделения. [3]

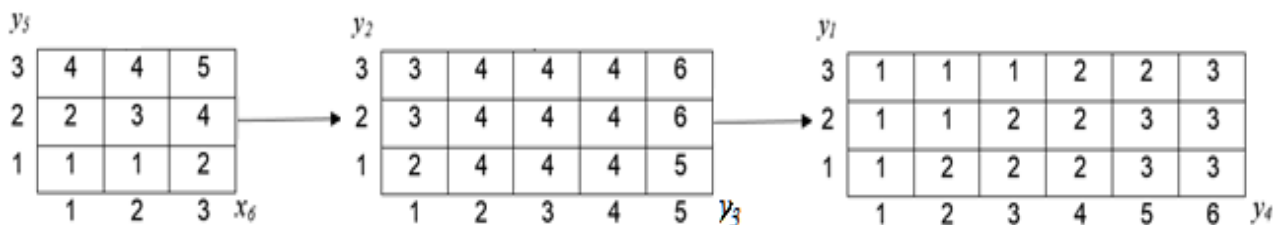


Рисунок 8 - Окончательный вид системы оценивания

На примере решения данной задачи был рассмотрен один и способов практического применения гибких систем комплексного оценивания. На основании выполненных расчетов получены результаты, позволяющие обосновать процедуру комплексного оценивания результатов деятельности на основе метода последовательного обобщения оценок. Таким образом обеспечивается возможность сопоставления оценок разнородных показателей.

Библиографический список

1. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Пинигин А. Ю., Хорохордина Н.В. Построение гибких систем комплексного оценивания в задачах оптимизации региональных программ // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. №3-5.
2. Порядина В.Л. Основы научных исследований в управлении социально-экономическими системами / В.Л. Порядина, С.А. Баркалов, Т.Г. Лихачева. Воронежский ГАСУ. - Воронеж, 2015. - 262 с.
3. Порядина В.Л. Комплексное оценивание результатов деятельности социально-экономической системы на основе обобщенных аддитивных сверток // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. 2016. №1. С. 129-134
4. Порядина В.Л. Модели интегральной оценки качества строительных программ // Вестник воронежского института и социального управления. 2016. №1. С. 28-32.

О МЕХАНИЗМЕ ПИЛОТНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ERP-СИСТЕМЫ

Митьков В.В., Зимин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия*

Введение

Пилотные (экспериментальные) проекты предназначены для проверки принципиальной возможности достижения целей создаваемой ERP-системой посредством тестирования основных ее функций ограниченным количеством пользователей. То есть содержание пилотного проекта задается множеством ИТ-сервисов (функциональный объем тестирования), подлежащих проверке, и множеством пользователей, которые будут проверять функционирование этих сервисов [1]. Если объем пилотного проекта слишком мал, тогда принципиально важные функции системы будут недостаточно протестированы, а вероятность обнаружения принципиальных ошибок при полном внедрении будет высока. Если предметная область

слишком велика, то значительно увеличивается объем работ по реализации пилотного проекта, то есть не будет необходимой быстроты и гибкости, из-за которых и организуется пилотное проектирование и его эффективность будет близка к эффективности полного внедрения.

Пусть $S = \{S_j | j = \overline{1, m}\} = \{\{s_{ji} | i = \overline{1, n_j}\} | j = \overline{1, m}\}$ - портфель сервисов создаваемой ERP-системы. Здесь j - номер бизнес-процесса, а i - номер сервиса в бизнес-процессе. Пусть расписание разработки сервисов портфеля, являющееся результатом формирования и календарного планирования проектирования сервисов, представлено на рисунке 1.

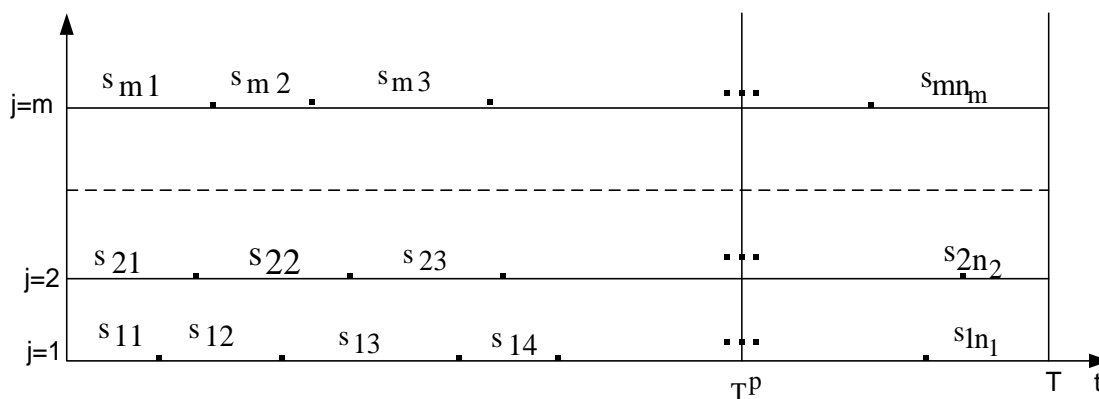


Рисунок 1 – Календарный план разработки ИТ-сервисов

Обозначим через $t_{ji} = t(s_{ji})$ длительность времени разработки сервиса s_{ji} , а через T^P - момент времени начала пилотного тестирования. Момент времени T_{ji} окончания проектирования сервиса s_{ji} определяется соотношением

$$T_{ji} = \sum_{k=1}^i t_{jk} \cdot \quad (1)$$

Тогда множество $S(T^P)$ сервисов, разработанных к моменту времени T^P начала пилотного тестирования, из которых может быть сформирован пилотный проект, определяется соотношением

$$S(T^P) = \{S_j(T^P) | j = \overline{1, m}\} = \{\{s_{ji} | T_{ji} \leq T^P\} | j = \overline{1, m}\} \subset S. \quad (2)$$

Для упрощения обозначений перенумеруем сервисы множества $S(T^P)$ так, что

$$S(T^P) = \{S_j(T^P) | j = \overline{1, m}\} = \{\{s_{ji} | i = \overline{1, n_j^P}\} | j = \overline{1, n_j^P}\}. \quad (3)$$

Обозначим через $q_{ji}^{rk} = q(s_{ji}, s_{rk})$ количество связей между активами сервисов S_{ji}, S_{rk} . В соответствии с определением, пилотное тестирование предполагает проверку ограниченным числом «продвинутых» пользователей корректного функционирования «базовых» функций создаваемой системы. Это означает, что задача формирования объема пилотного проекта состоит в определении тех сервисов из $S(T^P)$ и тех связей этих сервисов, которые должны быть подвергнуты тестированию [2-6].

Формализация задачи. Введем следующие переменные:

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если сервис } s_{ji} \text{ подлежит тестированию,} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (4)$$

и

$$x_{ji}^{rk} = \begin{cases} 1, & \text{если связи сервиса } s_{ji} \text{ с } s_{rk} \text{ подлежат тестированию,} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (5)$$

Общее количество связей между сервисами, подлежащее проверке при пилотном тестировании, описывается функцией

$$q = \sum_{j=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_j^p}} \left(\sum_{r=\overline{1, m}} \sum_{k=\overline{1, n_r^p}} q_{ji}^{rk} x_{ji}^{rk} \right) x_{ji}. \quad (6)$$

Функциональный объем пилотного тестирования зависит от величины затрат, выделяемых на его проведение. Под затратами можно, в частности, понимать количество рабочих человеко-дней компетентных пользователей, которое руководство предприятия может позволить себе изъять из текущей основной деятельности. Пусть \tilde{n}^* - предельный объем допустимых затрат. Обозначим через $\tilde{n}_{ji}^{rk} = \tilde{n}(s_{ji}, s_{rk})$ затраты, требуемые для проверки связей между сервисами s_{ji} и s_{rk} . Общие затраты на проверку связей, подлежащих тестированию, будут

$$\tilde{n} = \sum_{j=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_j^p}} \left(\sum_{r=\overline{1, m}} \sum_{k=\overline{1, n_r^p}} \tilde{n}_{ji}^{rk} x_{ji}^{rk} \right) x_{ji}. \quad (7)$$

Положим также, что руководство каждого бизнес-процесса накладывает ограничения на общее количество n_j^* подлежащих тестированию сервисов бизнес-процесса и на количество n_j^{-*} сервисов смежных бизнес-процессов, с которыми должны быть проверены связи тестируемых сервисов. Рассмотрим далее следующий вариант формализации рассматриваемой задачи:

$$q = \sum_{j=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_j^p}} \left(\sum_{r=\overline{1, m}} \sum_{k=\overline{1, n_r^p}} q_{ji}^{rk} x_{ji}^{rk} \right) x_{ji} = \sum_{j=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_j^p}} q_{ji} x_{ji} = \sum_{j=\overline{1, m}} q_j \rightarrow \max, \quad (8)$$

$$\tilde{n} = \sum_{j=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_j^p}} \left(\sum_{r=\overline{1, m}} \sum_{k=\overline{1, n_r^p}} \tilde{n}_{ji}^{rk} x_{ji}^{rk} \right) x_{ji} = \sum_{j=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_j^p}} c_{ji} x_{ji} = \sum_{j=\overline{1, m}} c_j \leq c^*, \quad (9)$$

$$\sum_{i=\overline{1, n_j^p}} x_{ji} \geq n_j^*, j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

$$\sum_{r \neq j, r=\overline{1, m}} \sum_{i=\overline{1, n_r^p}} x_{ri} \geq n_j^{-*}, j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Задача состоит в нахождении таких $x_{ji}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n_j^p}$, и $x_{ji}^{rk}, j, r = \overline{1, m}, i, k = \overline{1, n_j^p}$ (то есть такого подмножества ИТ-сервисов и таких подмножеств их связей), которые максимизируют количество q проверяемых связей между тестируемыми сервисами при заданных допустимых затратах \tilde{n}^* и ограничениях (10) и (11).

Схема решения задачи. Для решения задачи (8) – (11) применим метод сетевого про-

граммирования, который предполагает последовательное решение цепочки оценочных задач, формируемой на основе структурно подобного сетевого представлении целевой функции и ограничений [7-8].

Тогда для задачи (8) – (11) цепочки оценочных задач можно реализовать в три этапа:

1. Последовательное решение для каждого сервиса каждого процесса задачи определения подлежащих проверке связей:

$$q_{ji} = \sum_{r=1}^m \sum_{k=1}^{n_r^p} q_{ji}^{rk} x_{ji}^{rk} \rightarrow \max \quad (12)$$

$$c_{ji} = \sum_{r=1}^m \sum_{k=1}^{n_r^p} c_{ji}^{rk} x_{ji}^{rk} \leq c^*, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n_j^p} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j^p} x_{ji} \geq n_j^*, j = \overline{1, m} \quad (14)$$

$$\sum_{r \neq j} \sum_{r=1}^{n_r^p} x_{ri} \geq \tilde{n}_j^*, j = \overline{1, m} \quad (15)$$

Структурно-подобное сетевое представление функций q_{ji} и c_{ji} дано на рисунке 2.

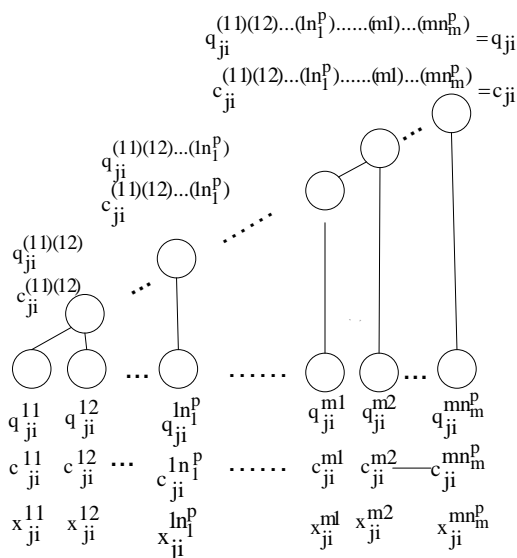


Рисунок 2 – Сетевое представление функций q_{ji} и c_{ji}

2. Последовательное решение m ($j = \overline{1, m}$) задач:

$$q_j = \sum_{i=1}^{n_j^p} q_{ji} x_{ji} \rightarrow \max \quad (16)$$

$$\tilde{n}_j = \sum_{i=1}^{n_j^p} c_{ji} x_{ji} \leq \tilde{n}^*, j = \overline{1, m}, \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j^p} x_{ji} \geq n_j^*, j = \overline{1, m} \quad (18)$$

$$\sum_{r \neq j} \sum_{r=1}^{n_r^p} x_{ri} \geq \overline{n_j^*}, j = \overline{1, m}. \quad (19)$$

Структурно-подобное сетевое представление функций q_j и c_j дано на рисунке 3.

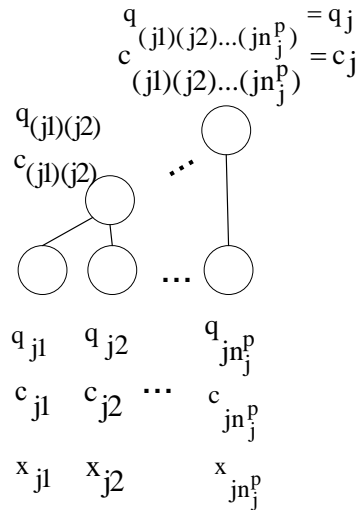


Рисунок 3 - Сетевое представление функций q_j и c_j

3. Последовательное решение $(m-1)$ оценочной задачи для определения решения задачи:

$$q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j^p} q_{ji} x_{ji} \rightarrow \max \quad (21)$$

$$c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j^p} c_{ji} x_{ji} \leq c^* \quad (22)$$

Структурно-подобное сетевое представление функций q и c дано на рисунке 4.

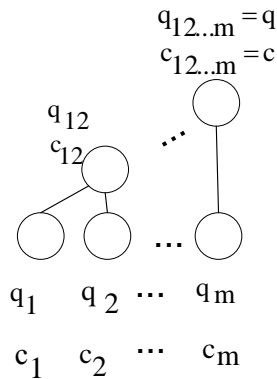


Рисунок 4 - Сетевое представление функций q и c

Полученное в соответствии с изложенной схемой решение является приближенным. Для нахождения глобального оптимума можно воспользоваться методом ветвей и границ, в котором в качестве границ использовать значения q найденного приближенного решения [9-10].

Библиографический список

1. Зимин В.В. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL) : учебное пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2013. – 500 с.
2. Бурков, В.Н. Как управлять проектами: Научно-практическое издание. / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков.- М.: СИНТЕГ – ГЕО. - 1997. - 188 с.
3. Phillips J.J. Bothell T.W. Snead G.L. The project management scorecards. - Amsterdam: Elseiver. 2003.
4. Валерий Зимин, Ирина Буркова, Алексей Зимин Модели и механизмы управления жизненным циклом ИТ-сервисов //LAP LAMBERT Academic Publisging RU, ISBN: 978-3-330-08393-6. -2017. -337с
5. Wysocky R.K.. Beck R.. Crane D.B. Effective project management. - N.Y. John Wiley & Sons. 2000.
6. Механизмы управления: учебное пособие / под редакцией Д.А. Новикова . -М.: ЛЕНАНД, 2011. – 192 с.
7. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами: автореферат дисс. на соиск. степени доктора технических наук: 05.13.10 / И.В. Буркова.- Москва, изд. ИПУ, 2012. –с.40
8. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации / И.В. Буркова // Автоматика и телемеханика.- 2009.- № 10.- С. 15-21.
9. Вагнер, Г. Основы исследования операций / Г.Вагнер.-М.:Мир,1972.-198с.
10. Корбут А.А., Сига И.Х., Финкельштейн Ю.Ю. Метод ветвей и границ. Обзор теории, алгоритмов, программ и приложений. // Math. Operation Forsch. Staist. Ser. Optimization. – 1977. – V. 8, № 2. - P. 253-280.

СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТОВ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО ЦЕХА

Мусатова А.И., Кулаков С.М.

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

Рассматривается тактовый метод построения нормативной модели функционирования термического отделения. Современная термическая печь является сложным автоматизированным агрегатом, предназначенным для многостадийного, непрерывного и продолжительного процесса термической обработки металла. Высокопроизводительная работа печи возможна при условии четкой и согласованной работы всех ее зон. В рассматриваемом термическом отделении каждая роликовая печь непрерывного действия состоит из четырех зон (камер): загрузки, нагрева, охлаждения и выгрузки, через которые последовательно проходят по рольгангу поддоны, загруженные стальной проволокой (рисунок 1).

Традиционная методика нормирования производительности термической печи является укрупненной и не отражает специфику работы жесткосвязанных зон. Разработанный тактовый метод расчета нормативной производительности термической печи включает следующие основные этапы.

Этап 1. Построение нормативной модели функционирования термического отделения (на основе технической и отчетной документации, хронометражных наблюдений). Формирование модели включает следующие действия:

а) выбор основных факторов, характеризующих производственные ситуации в термическом отделении (ГОСТ, ТУ, марка стали и диаметр проволоки, вид и вес мотков и катушек,

количество работающих печей и т.д.);

б) декомпозиция объекта исследования (отделения) на агрегаты (печи), зоны агрегатов и механизмы (рисунок 1); определение информативных параметров печей, зон, рольгангов;

в) декомпозиция производственных операций на элементы по зонам печи с выделением их границ (фиксажных точек);

г) выбор метода (или методов) определения нормативной длительности элементов и операций (метод экспертных оценок, хронометражных наблюдений, технических расчетов, статистического анализа данных оперативного учета, комбинированных оценок и др.);

д) определение расчетной единицы продукции (катушка или моток проволоки, партия изделий на поддоне), а также ее характеристик (вес катушки, мотка, партии; количество катушек или мотков на поддоне);

е) расчет нормативной длительности элементов и операций в соответствии с выбранным методом нормирования и расчетной единицей продукции.

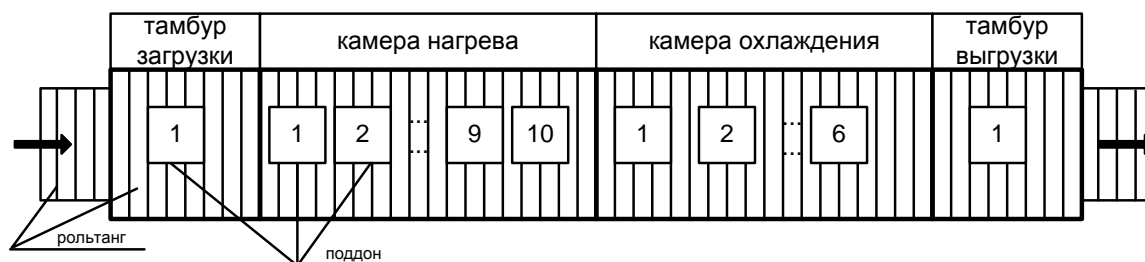


Рисунок 1 – Структурная схема многозонной термической печи
1...10 – номера поддонов

Этап 2. Расчет технически возможных тактов работы камер роликовой печи для отжига проволоки. Далее подробно рассмотрен расчет тактов работы каждой камеры печи и печи в целом.

Технически возможный такт работы μ - той камеры печи определяется по формулам:

$$T'_\mu = \frac{T_\mu}{E_\mu}; \quad E_\mu = \frac{L_\mu}{l_\mu}; \quad \mu = \overline{1,4}; \quad l_\mu = l_n + l_\phi, \quad (1)$$

где T_μ – длительность нахождения одного поддона в μ -й камере печи, мин;

A_μ – емкость (количество поддонов) μ -й камеры печи, шт;

L_μ, l_μ – длина и «шаг» μ -й камеры, м;

l_n – длина поддона, м;

l_ϕ – номинальное расстояние между поддонами, м.

Длительность прохождения одного поддона через тамбур загрузки или выгрузки определяется по формулам:

$$T_{1(4)} = 2\tau_{п(о)} + \frac{S_\tau - l_n}{V_{тр}} + t_{пр}; \quad \tau_{п(о)} = \frac{h_3}{V_{п(о)}}, \quad (2)$$

где $\tau_{i(i)}$ – длительность поднятия (опускания) заслонки, мин;

$h_3, V_{i(i)}$ – ход и скорость движения заслонки, м/с;

S_δ – расстояние, которое проходит поддон, м/с;

$V_{\delta\delta}$ – транспортная скорость рольганга в тамбуре, м/мин;

$t_{i\delta}$ – время продувки (шлюзования) тамбура загрузки (выгрузки), мин.

Длительность прохождения одного поддона через камеру нагрева определяется из

выражения:

$$T_2 = \frac{S_n}{V_{тр}} + \frac{L_n - l_n}{V_n}, \quad (3)$$

где S_i – расстояние, которое проходит поддон из тамбура загрузки в камеру нагрева, м;

L_i – длина камеры нагрева, м;

V_i – технологическая скорость рольганга в камере нагрева, м/мин.

Длительность прохождения одного поддона через камеру охлаждения рассчитывается по формуле:

$$T_3 = \frac{L_o - l_n}{V_o} + \frac{S_o}{V_{тр}}, \quad (4)$$

где L_i – длина камеры охлаждения, м;

V_i – технологическая скорость рольганга в камере охлаждения, м/мин;

S_i – расстояние, которое проходит поддон из камеры нагрева в камеру охлаждения, м.

Этап 3. Определение единого такта работы роликовой печи для отжига проволоки диаметром $d_{i\delta}$.

Технически возможный такт работы роликовой печи определяется из соотношения:

$$T^* = \max\{T'_1; T'_2; T'_3; T'_4\}, \quad (5)$$

где T^* – такт на партию изделий (на поддон).

Результаты расчетов, по которым осуществлялся выбор технически возможного такта работы роликовой печи фрагментарно показан в таблице 1.

Технически возможный такт работы печи на единицу изделия (штучный такт) рассчитывается в соответствии с формулой:

$$T^{тв} = \frac{T^*}{N}, \quad (6)$$

где N – количество мотков (катушек), загружаемых на один поддон, шт.

Нормативный такт работы роликовой печи (на партию или штучный) находится с учетом нормативного коэффициента использования оборудования (K_{δ}^i):

$$T^{i*} = \frac{T^*}{K_{\delta}^i} \quad \text{или} \quad T^H = \frac{T^{тв}}{K_{\delta}^i} \quad (7)$$

Этап 4. Определение технически возможных (нормативных) тактов работы термического отделения с учетом количества одновременно работающих роликовых печей (Z_i):

$$T_{то}^{тв(н)} = \frac{T^{*(н)}}{Z_{п}} \quad \text{или} \quad T_{то}^{тв(н)} = \frac{T^{тв(н)}}{Z_{п}} \quad (8)$$

Таблица 1 – Выбор технически возможного такта работы печи

Технические условия	Такты работы печи, мин				Такт работы печи, мин
	по камерам:				
	загрузки	нагрева	охлаждения	выгрузки	
ТУ 14-4-1518	<i>на один поддон</i>				
Катушка весом 1 т	40,2	593,0	260,8	40,2	593,0
Диаметр проволоки:	<i>на расчетное количество поддонов</i>				
2,0 – 5,6 мм	40,2	59,3	43,5	40,2	59,3

Этап 5. Расчет технически возможной (нормативной) производительности термического отделения:

– на один поддон (партию изделий)

$$P_{\text{то}}^{\text{ТВ(Н)}} = \frac{60 \cdot G \cdot N}{T_{\text{то}}^{\text{ТВ(Н)}}}, \text{ т/ч} \quad (9)$$

– на одно изделие

$$P_{\text{то}}^{\text{ТВ(Н)}} = \frac{60 \cdot G}{T_{\text{то}}^{\text{ТВ(Н)}}}, \text{ т/ч} \quad (10)$$

где G – вес мотка (катушки), т.

Фрагмент расчета нормативной производительности термического отделения для некоторых видов продукции приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет производительности термического отделения

ГОСТ, ТУ	Диаметр провода, мм	Вид изделия	Вес изде- лия, кг	Нормативный такт работы печи, мин		Нормативная производительность отделения, т/ч			
				на поддон	на изделие	количество печей			
						одна	две	три	четы- ре
14-4-158	2,0–5,6	катушка	1000	65,9	32,9	1,8	3,6	5,4	7,2
14-4-158	3,0–9,0	моток	500	65,9	11,0	2,8	5,6	8,4	11,2
3282	2,5–4,6	катушка	1000	47,1	23,5	2,6	5,2	7,8	10,4
5663	1,0–2,0	моток	150	32,9	2,2	4,1	8,2	12,3	16,4

Конкретной иллюстрацией изложенной методики являются фрагменты расчетных таблиц, на основе которых формируется база нормативных тактов и производительностей, предназначенных для решения задач оперативного планирования и диспетчерского управления. Общая схема расчета приведена на рисунке 2.

На основе выполненных исследований предлагается формировать оперативные планы работы термического отделения по ситуациям, отличающимся количеством работающих роликовых печей и режимами термической обработки проволоки.

Проведенные исследования и анализ деятельности цеха (термического отделения) выявили ряд недостатков, вызванных как объективными, так и субъективными факторами, главными из которых являются: нерациональная организация производства, отсутствие анализа логистических схем для различного уровня спроса на продукцию, неэффективное планирование и оперативное управление, отсутствие обоснованных нормативных показателей производственной системы. Анализ загрузки отделения при четырех действующих роликовых печах показал, что производственная мощность отделения недоиспользуется в среднем на 70 %. Опираясь на разработанные нормативные значения часовой производительности, фонда времени работы печей и отделения в целом, можно сделать вывод, что для фактического выпуска продукции (13880 т/год) было бы достаточно использовать одну печь при загрузке ее производственной мощности на 78 %.

Возможны два пути повышения эффективности работы отделения: повышение объема выпускаемой продукции, увеличение загрузки производственных мощностей одной-двух роликовых печей, при переводе в режим резервирования или неполного использования мощности остальных печей. Их реализации должно предшествовать изучение спроса на металлопродукцию и прогноз его динамики.

Проведенные маркетинговые исследования позволили сформировать таблицу возможных (прогнозируемых) вариантов уровня спроса на продукцию метизного производства

и разработать для каждого из этих вариантов рациональные ситуационные планы выпуска проволоки. Эти планы учитывают сортамент проволоки, коэффициенты использования производственной мощности печей, количество одновременно работающих печей и их возможные технологические режимы. В качестве критериев оптимальности плановых решений использовали прибыль и рентабельность товарной продукции.

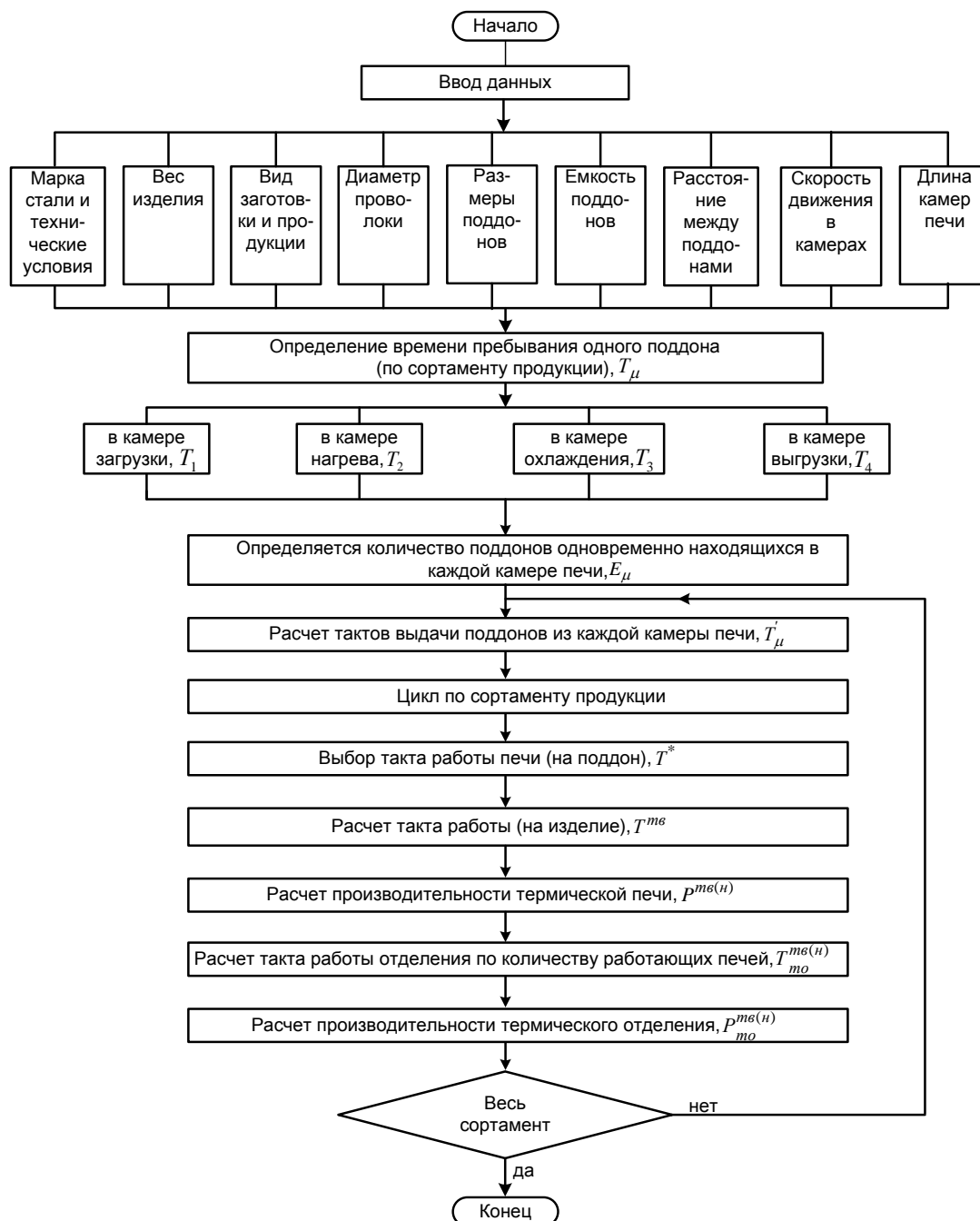


Рисунок 2 – Схема расчета производительности термического отделения

Количество ситуаций, обусловленное прогнозируемым изменением вышеперечисленных факторов, может достигать нескольких десятков. Из них в качестве наглядного примера выбраны следующие три варианта рациональной работы термического отделения, таблица 3:

Вариант 1. Спрос на термически обработанную проволоку ($ВП_1$) остается на уровне предыдущего года (периода). Плановый выпуск продукции ($ВП_1^{пл}$) при этом не изменяется, то есть:

$$ВП_1^{пл} = ВП_1 = 13880 \text{ т.}$$

Данный объем продукции обеспечивается одной роликовой печью, загрузка которой составит не более 70 % (коэффициент использования производственной мощности $K_{\text{пм}} = 0,70$). При этом предполагается, что остальные три печи в отделении законсервированы (остановлены).

Вариант 2. Спрос на термически обработанную проволоку увеличился на 40 % и соответственно должен увеличиться плановый выпуск продукции ($ВП_2^{\text{пл}}$):

$$ВП_2^{\text{пл}} > ВП_1; \quad ВП_2^{\text{пл}} = 19552 \text{ т.}$$

Тогда коэффициент использования производственной мощности одной печи составит $K_{\text{пм}} = 0,98$, что превышает его нормативное значение $K_{\text{пм}}^i = 0,86$. Поэтому необходимо ввести в действие вторую печь.

Соответствующая загрузка обеих печей значительно уменьшится и $K_{\text{пм}} = 0,40$. Предлагается вторую печь использовать частично, так как одной печью будет сложно выполнять полученные заказы при наличии неизбежных сбоев в работе, то есть целесообразно использовать вторую печь в рабочем режиме только половину планового периода, а остальное время – в режиме холостого хода.

Таблица 3 – Варианты рациональной работы отделения (фрагмент)

Варианты	Выпуск продукции, т/год	Расходы по переделу, руб/т	Себестоимость продукции, руб/т	Годовая экономия, тыс. руб	Прибыль, тыс. руб	Рентабельность продукции, %
Фактические значения по отчетным данным						
–	13880	1323	19293	–	61268	22
Предлагаемые варианты плановых решений						
1	13380	266	18236	14671	76526	29
2	19552	392	18362	18203	105235	28
3	47277	277	18247	49452	260088	29

Вариант 3. Спрос на термически обработанную проволоку увеличился в 3,4 раза, что требует соответствующего роста планового выпуска ($ВП_3^{\text{пл}}$), то есть:

$$ВП_3^{\text{пл}} > ВП_1; \quad ВП_3^{\text{пл}} = 47277 \text{ т.}$$

Коэффициент $K_{\text{пм}}$ двух печей также возрастет до 0,97. В этом случае предлагается ввести в действие на 50% планового периода третью печь, что уменьшит $K_{\text{пм}}$ трех печей до 0,65.

Ситуационный подход дает существенные преимущества при разработке производственной программы, а особенно – при ее реализации в нестабильных рыночных условиях. Руководители и исполнители планов получают возможность, пользуясь заранее заготовленной ситуационной таблицей рациональных решений, быстро действовать в новой производственной ситуации.

Предлагаемое отключение нескольких термических печей и перевод их в резерв или в режим частичного использования в зависимости от спроса на продукцию приведет к снижению текущих простоев, сокращению расходов на топливно-энергетические ресурсы, на ремонтный фонд, сменное оборудование, на фонд оплаты труда и амортизационные отчисления основных фондов. При работе термического отделения по рекомендуемым вариантам произойдет снижение себестоимости продукции, а, следовательно, повысятся прибыль и рентабельность товарной продукции, таблица 3.

Выводы. Сформирована формульно-алгоритмическая нормативная модель функцио-

нирования термического отделения, рассчитаны технически возможные и нормативные значения тактов работы, производительности печей и отделения в целом. Предложен тактовый метод расчета нормативной производительности роликовой печи, опирающийся на декомпозицию объекта управления (термического отделения) и производственных операций. Рассмотрены варианты эффективной работы отделения с учетом изменения спроса на продукцию метизного производства, изменения сортамента проволоки, количества одновременно работающих печей, их технологических режимов и загрузки.

Библиографический список

1. Гусовский В.Л. Современные нагревательные и термические печи: Справочник / В.Л. Гусовский М.Г. Ладыгичев, А.Б. Усачев; под ред. А.Б. Усачева. – М.: Машиностроение, 2001. – 656 с.

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.

О СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРОЙ

Грачев А.В.

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

Введение

Современные сети – конвергентные сети, т.е. это совокупность крайне разнородных, как по топологии, так и по физической архитектуре сетей, которые предлагают конечному пользователю самые разнообразные сервисы. Это огромное виртуальное и физическое пространство, состоящее из миллионов процессоров, операционных платформ, линий передачи данных и стыковочных узлов.

Однако бурное развитие мобильных коммуникационных технологий показывает, что системы с жесткофиксированной топологией все больше заменяются системами с видоизменяемой топологией. Жесткая топология остается уделом опорных глобальных и трансконтинентальных систем. Пользовательские же системы и, в особенности, сегменты «последней мили» чаще заменяются высокомобильными платформами.

В современном мире все большее значение имеют устройства, с большими вычислительными мощностями при очень малых размерах. В связи с этим тенденция малых вычислительных устройствах и сопряжение их в распределенные системы набирает обороты.

Наиболее известный вектор такого развития это, так называемый, Интернет Вещей (Internet of Things, **IoT**). Когда пользователь, обыватель или оператор имеет при себе целый набор таких устройств, средств коммуникации, устройств для контроля состояний здоровья и прочие "гаджеты". Условно Интернет Вещей можно принять за исключительно пользовательскую систему. Но, на взгляд автора, это слишком узкое понятие.

Ведутся исследования для создания системы управления городским транспортным движением через системы сенсоров, распределенных по территории города вдоль транспортных маршрутов и датчиков, закрепленных на транспортные средства. Последние, по мнению автора, являются наиболее иллюстрируемым примером, когда сотни, если не тысячи, устройств разных производителей должны быть объединены в единую систему. При этом, совершенно нельзя предугадать, будут ли это совместимые или не совместимые устройства, или же часть из них в изношенном состоянии. Поэтому, распределенная система, управляющая подобными структурами, должна учитывать эти особенности и опираться, прежде всего, на доступные ресурсы всех и каждого узла в системе [1].

Направление развития средств управления

При разработке распределенной системы или её оптимизации следует учитывать состояние "сегмента в общем" и состояние "узла в группе".

Существующее многообразие технических средств автоматизации не позволяет выделить какие-то общие для всех факторы, влияющие на надежность системы, поэтому необходимо отталкиваться от применяемых в конкретном случае методов и способов управления (задач, протоколов, технологий). Но, в тоже время, не рассматривать существующую систему как законченную, т.е. неизменную на долгой перспективе. Вероятность изменения как топологии, так и добавления (удаления) новых технических устройств (протоколов) необходимо учитывать.

Как видно на рисунке 1 современные устройства связаны с интернетом напрямую и чаще всего не имеют промежуточного управляющего сервера. Задача решаема, если сервер находится в интернете, и если условия запрещают связь через незащищенные каналы, которым по умолчанию является интернет. В таком случае необходимо, чтобы клиенты (мобильные устройства) сами имели возможность брать на себя ряд функций по управлению и самоорганизации.

Таким образом, задача автоматизации управления сложными распределенными сетевыми структурами сводится к управлению уже существующими или разрабатываемыми протоколами (узлами, сегментами) как объектом управления.

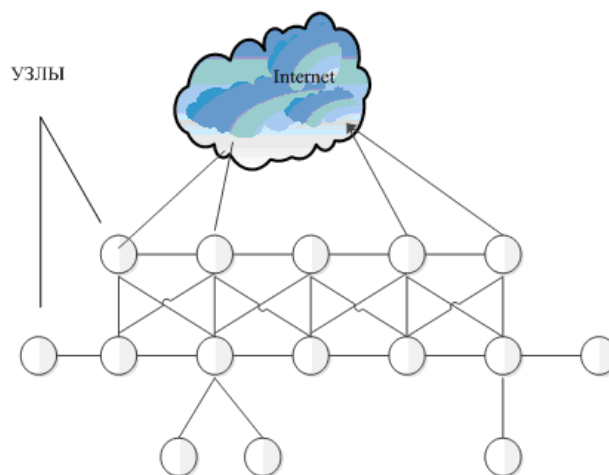


Рисунок 1 – Пример современной мобильной сети

Разнообразие производителей обуславливает обширный набор различных технологических средств, которые могут быть объединены в сетевую структуру. При этом они могут иметь различные технические характеристики, порой различающиеся в весьма широком диапазоне [2].

Поэтому делать упор в системах управления на конкретное устройство и ожидать, что сетевая структура будет состоять из этих однотипных устройств ошибочно.

Скорость развития современных информационных технологий обязывает учитывать, что в недалеком будущем появятся новые, ранее неизвестные устройства, в первую очередь, носимой электроники (например: концепция Интернета Вещей), которые тоже будут иметь возможность или, скорее всего, полностью будет работать в составе сетевой структуры.

Любой предложенный способ должен будет учитывать всё вышеперечисленное. Исходя из вышеизложенного, любой метод не является исчерпывающим, а призван дать общую оценку состояния. Расчетные данные метода, так же могут служить основанием для просмотра результатов [3].

Для того чтобы выбранный способ управления был наиболее эффективным, используемые в нем инструменты должны отвечать ряду требований, в первую очередь, по надежности узлов и «открытости», т.е. элемент сети (узел, сегмент) должен содержать все необходимые данные для оценивания маршрутов.

Оптимальная оценка может быть вычислена по формуле:

$$M = \frac{Q * U_c}{N_{уз}}, \text{ при } M \rightarrow \max, \quad (1)$$

где M - оценка маршрута,

Q - состояние (ранг) узла в прошлом,

U_c - показатель состояния в зависимости от типа данных,

$N_{уз}$ - количество узлов на выбранном маршруте.

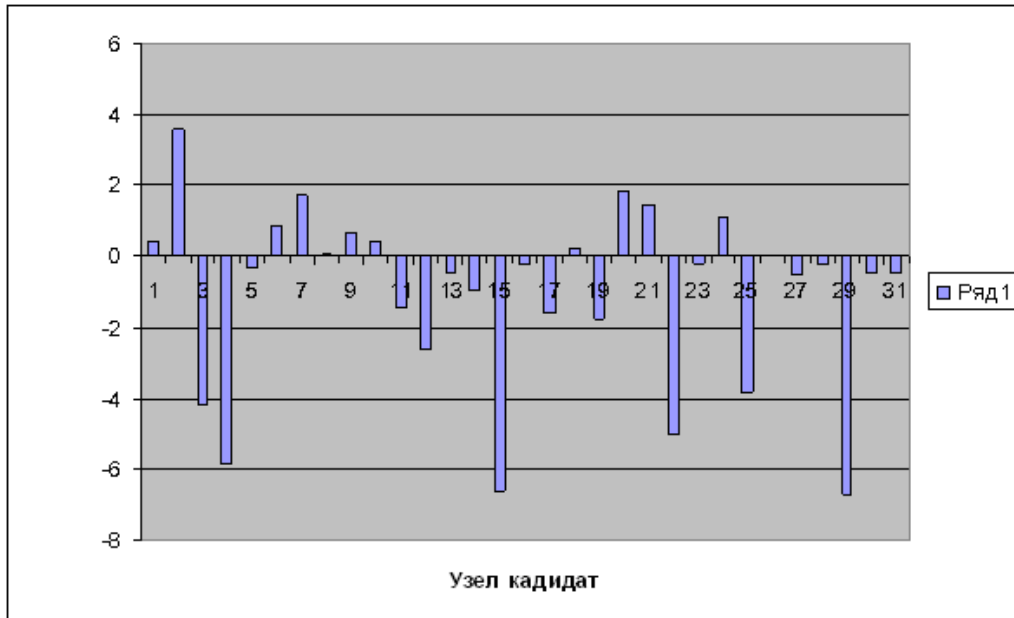


Рисунок 2 - Оценка работы выбранного узла

Чем выше положительное значение оценки, тем выше вероятность сохранения стабильности работы узла в сетевой структуре. Отрицательная оценка означает возрастающую вероятность сбоя в работе.

Выводы. Дальнейшее развитие в сфере интеллектуального управления распределенными системами лежит в области создание надстроек с функциями оперативного управления, как на уровне главных управляющих узлов, так и на уровнях узлов-исполнителей, которые могут стать центрами концентрации части управляющих функций в некоторых сегментах распределенной системы.

Библиографический список

1. Ландэ Д.В., Снарский А.А., Безсуднов И.В. Интернетика: Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы. / Д.В. Ландэ - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. – 264 с.
2. О методе оценивания промежуточных узлов передачи данных для маршрутизации в иерархических сетях разной топологии / А. В. Грачев, Т. В. Киселева, А. С. Добрынин, Р. С. Койнов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 1. – С. 32–38.
3. О способе управления распределенной сетевой структурой и оценки её работы / А.В. Грачев, Т.В. Киселева, // Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах. – Новокузнецк, 2016.– Часть 2.– С. 188–192.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА ПОЛНОГО МНОГООБРАЗИЯ ВАРИАНТОВ СОСТАВА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА НОМЕНКЛАТУРУ ЗВЕНЬЕВ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР

Степанов А.В.

*Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, Россия*

В различных областях науки и техники существует огромное количество задач с дискретной природой. Развитие методов решения такого рода задач, основанных на использовании математических моделей, переменные которых принимают дискретные значения, обусловлено их теоретической и практической важностью.

Особенностью такого рода задач является физическая неделимость многих факторов и объектов расчета. Структурный синтез механизмов с заданным количеством звеньев является примером задачи с дискретной природой. Не может быть, к примеру, механизма с подвижностью равной полутора. Кинематическая цепь, отображающая структуру механизма, не может иметь треть звена или часть кинематической пары; сложность звена и класс кинематической пары представляются целыми числами и т. д.

Технология ручного синтеза механизмов, имеющих заданную степень подвижности, была предложена профессором Дворниковым Л.Т. и опубликована им в [1]. В ее основу была положена система из трех уравнений, целочисленные решения которой, с учетом ее некоторых особенностей, позволяли бы определять состав кинематических цепей различных топологий, удовлетворяющих заданным условиям. Исходными данными являлись: число подвижных звеньев; число общих связей, наложенных на кинематическую цепь; максимально допустимая сложность звеньев; совокупность классов кинематических пар, разрешенных к использованию. При небольшом количестве звеньев целочисленные решения могли быть получены путем несложных математических преобразований, но при увеличении количества звеньев и их допустимой сложности ручные расчеты становились уже невозможными. Для научных и инженерных исследований, проводимых в области структурного синтеза механизмов, возникла необходимость автоматизации этого процесса.

Для получения целочисленных решений системы с помощью технических средств было спроектировано специализированное вычислительное устройство, работа которого эмулировалась с помощью компьютерной программы. Структура специализированного вычислительного устройства, методика расчета состава цепей и исходный код компьютерной программы были опубликованы в открытой печати [1,2].

Существенной особенностью предложенной системы уравнений являлось то, что при ее создании сложность звеньев отождествлялась с числом кинематических пар, привносимым звеном в цепь при ее будущей сборке. По этой причине звено, которое должно привноситься в цепь одну кинематическую пару, могло стать при сборке цепи и двухпарным и трехпарным и т.д. Иными словами, численные решения системы представляли собой количества условных или, так называемых, виртуальных звеньев и не отвечали на вопрос о том, какое же количество двухпарных, трехпарных и другой сложности звеньев должен содержать любой вариант сборки звеньев в кинематическую цепь. С одним и тем же составом виртуальных звеньев можно построить несколько вариантов кинематических цепей, имеющих различные составы реальных звеньев. Реальный состав цепи мог быть определен только после построения конкретного варианта сборки. Возникла парадоксальная ситуация: для сборки кинематической цепи необходимо иметь набор реальных звеньев, который мог быть определен только после процедуры сборки.

Позже автором этого доклада была предложена система уравнений, решение которой позволяло определить номенклатуру реальных звеньев, необходимых для сборки цепи. Си-

стема имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum n = \sum_{i=2}^q n_i \\ \sum p = (i \cdot \sum_{i=2}^q n_i + v) / 2 \\ \sum p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 \\ W = (6 - m) \sum n - \sum_{k=1}^{5-m} (6 - m - k) p_k \end{array} \right. \quad (1)$$

В этой системе: W – подвижность цепи; m – число общих наложенных на систему связей; n_i – количества звеньев с числом геометрических элементов равным индексу; p_i – количества кинематических пар с подвижностью равной индексу; v – число выходов цепи; q – количество геометрических элементов самого сложного звена.

Для того, чтобы учитывать ограничения, накладываемые на номенклатуру звеньев и кинематических пар, структура виртуального специализированного вычислительного устройства была изменена в соответствии с рисунком 1. Были добавлены фильтры: наборов звеньев и кинематических пар. Изменения претерпели также генераторы наборов звеньев и кинематических пар. Эти генераторы представляли собой счетчики с изменяемым основанием системы счисления и выключаемыми разрядами [3,4]. Тестирование компьютерной программы, эмулирующей работу специализированного вычислительного устройства, подтвердило правильность стратегии поиска целочисленных решений разработанной системы уравнений (1).

Желание повысить эффективность работы генераторов звеньев и кинематических пар привело к разработке нового вида счетчиков с динамически изменяемыми системами счисления их разрядов и алгоритм изменения оснований систем счисления разрядов, исключающий наличие холостых тактов [5].

Разрядная сетка такого счетчика условно разделена на две части: счетную и буферную. Буферная состоит из одного единственного разряда, значение которого всегда равно разности между заданным значением N и суммой значений остальных разрядов счетчика Σ . Таким образом, при любых значениях разрядов счетной части сумма значений поразрядных выходов равна N .

При начальной инициализации счетчика все его разряды приводятся в нулевое состояние, основания систем счисления разрядов принимаются равными $N+1$. При появлении сигнала переноса от любого разряда счетчика к работе подключается блок изменения оснований систем счисления. После отработки всех сигналов переноса он изменяет основания систем счисления тех разрядов счетной части, которые расположены правее старшего из разрядов m , в котором возник перенос, в соответствии со следующим алгоритмом:

$$O_l = (N + 1) - \sum_{i=l+1}^k C_i, \quad l = 1, \dots, p,$$

где O – численное значение основания системы счисления разряда;

N – значение задаваемого параметра (сумма разрядов счетчика);

C_i – состояние i -го разряда счетчика;

l – условный номер разряда с корректируемым основанием системы счисления;

k – максимальный номер разряда в счетчике;

p – номер разряда, в котором возник перенос.

Эффективность работы генераторов на основе такого рода счетчиков оказалась значительно выше. Например, перебор всех возможных вариантов трехразрядным счетчиком с изменяемыми основаниями систем счисления его разрядов для $N = 7$ произведен за 36 тактов работы, в то время как обычный счетчик отработал бы 511 тактов. Это более чем на порядок больше. Число холостых тактов в обычном счетчике, по сравнению с рассмотренным, нелинейно возрастает при увеличении числа N и числа выходов счетчика. Пятиразрядный счет-

чик с изменяемыми основаниями систем счисления разрядов при $N = 9$ осуществит перебор всех возможных комбинаций за 715 тактов; счетчик с неизменяемыми основаниями систем счисления разрядов обработает 99 999 тактов, что почти в 140 раз больше.

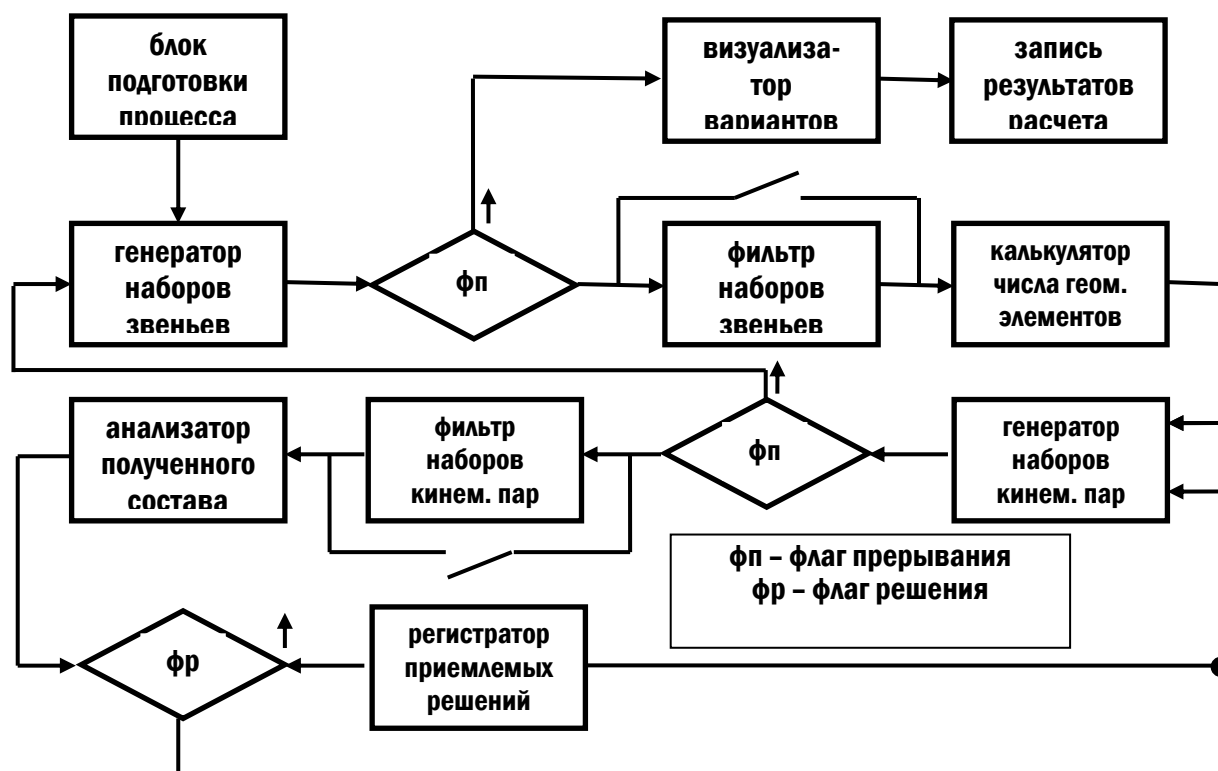


Рисунок 1 - Структурная схема специализированного вычислительного устройства

Таким образом, автоматизация поиска вариантов состава кинематических цепей возможна путем программной эмуляции специализированного вычислительного устройства, осуществляющего поиск целочисленных решений системы уравнений, являющейся математическим описанием кинематической цепи. В состав специализированного вычислительного устройства должны быть включены генераторы вариантов, артефактов, ситуаций, функционирующих по принципу разработанных счетчиков с динамически изменяемыми основаниями систем счисления их разрядов.

Библиографический список

1. Степанов А.В. О современном уровне компьютерного решения задач структурного синтеза механизмов // Теория механизмов и машин. 2011. Т. 9, № 1. С. 25 – 32.
2. Степанов А.В. Решение универсальной структурной системы проф. Л. Т. Дворникова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. № 3. С. 43 – 47.
3. Степанов А.В. Счетчики с выключаемыми разрядами и изменяемым основанием системы счисления в компьютерных процедурах, реализующих метод простого перебора // Вестник Кемеровского государственного университета. 2014. № 3-1 (59). С. 46 – 50.
4. Степанов А.В. Развитие алгоритмов расчета состава кинематических цепей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 4 (104). С. 57 – 60.
5. Степанов А.В., Степанов Ю.А. Счетчики с динамически изменяемыми системами счисления их разрядов. В сб. «Наука сегодня: проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции, г. Вологда, 29 марта 2017 г. – Вологда: ООО «Маркер», 2017, С 45 – 48.

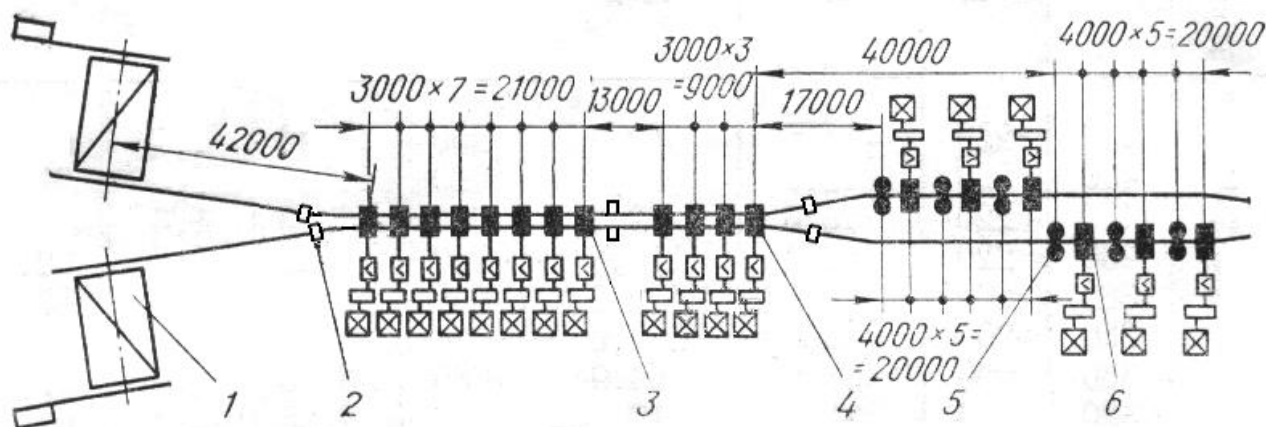
ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ

Шилов В.А., Куделин С.П., Инатович Ю.В., Бондин А.Р.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

В Уральском федеральном университете разработана экспертная система автоматизированного проектирования технологических режимов сортовой прокатки (ЭС «Технология сортовой прокатки»), которая может быть использована при оптимизации действующих и проектировании новых технологических процессов [1,2]. Для функционирования ЭС созданы базы знаний о предметной области, основанные на теоретических и экспериментальных исследованиях, а также на обобщении опыта производства сортовых профилей на действующих станах. Современная комплексная математическая модель расчета калибровок валков и технологических режимов прокатки позволяет рассчитывать полный комплекс технологических и энергосиловых параметров моделируемого процесса [3].

Мелкосортный стан 250 «ЕВРАЗ объединенный западно-сибирский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ ЗСМК) включает 24 рабочих клетки, расположенные в двухниточных черновой и промежуточной группах и двух однониточных чистовых группах (рисунок 1). По действующей калибровке валков круглую и арматурную сталь диаметром 12 мм прокатывают из заготовки сечением 100×100 мм за 18 проходов в начале в ящичных калибрах, а затем по системам калибров овал – ребровой овал и овал – круг. Температура нагрева заготовки из стали марки 35ГС составляет 1180 °С. Конечная скорость прокатки равна 17 м/с, хотя по технической характеристике стана максимально допустимая окружная скорость валков составляет 25 м/с.



- 1 – нагревательные печи, 2 – трайб - аппарат, 3 – черновые горизонтальные клетки,
4 – промежуточные горизонтальные клетки, 5 – чистовые вертикальные клетки,
6 – чистовые горизонтальные клетки

Рисунок 1 - Схема расположения оборудования мелкосортного стана 250

Учитывая наличие резерва интенсификации скоростных режимов, провели диагностику технологического режима прокатки круга $\varnothing 12$ мм из стали марки 35ГС при повышенной конечной скорости 20 м/с.

В качестве исходной информации используется техническая характеристика стана, калибровка валков, режимы деформации металла, начальные параметры технологии (марка стали, температура нагрева заготовки, конечная скорость прокатки и др.), которые хранятся в соответствующих базах данных (БД) ЭС, представляющих декларативные знания о рассматриваемом

прокатном стане.

Процесс диагностики сводится к расчету полного комплекса технологических параметров по дескриптивной математической модели процесса [3, 4] и проверке системы ограничений:

- по степени заполнения калибров

$$\delta_1 \leq 1.0;$$

- по прочности оборудования рабочих клетей

$$K_p = \frac{R_{\max}}{P_{\text{доп}}} \leq 1, \quad K_m = \frac{M_{\text{пр}}}{M_{\text{доп}}} \leq 1;$$

или

$$K_p = \frac{R_{\max}}{P_{\text{доп}}} \leq 1, \quad K_m = \frac{M_{\text{пр}}}{M_{\text{доп}}} \leq 1.$$

- по степени загрузки электродвигателей привода клетей

$$k_{\text{дв}i} = (M_i / M_{\text{дв}i}) < 1 \text{ или } N_{\text{пр}i} < N_{\text{дв}i};$$

- по скоростному режиму работы стана

$$U_{\min i} < U_i < U_{\max i};$$

- по условиям захвата и устойчивости раскатов

$$\alpha_i < [\alpha], \quad [a]_{\min} < a_i < [a]_{\max};$$

- по производительности нагревательной печи

$$П_j < П_n,$$

где R_i и $M_{\text{пр}i}$ - реакция силы прокатки на шейку валка и крутящий момент прокатки и их допустимые значения $P_{\text{доп}i}$ и $M_{\text{доп}i}$;

$k_{\text{дв}i}$ - коэффициент загрузки электродвигателя привода клетки;

M_i , $M_{\text{дв}i}$ - крутящий момент, приведенный к валу двигателя, и момент, развиваемый электродвигателем;

$N_{\text{пр}i}$ и $N_{\text{дв}i}$ - мощность прокатки и мощность электродвигателя;

$U_{\min i}$, U_i и $U_{\max i}$ - расчетная, минимально и максимально допустимая скорость прокатки;

α_i , $[\alpha]$ - расчетный и максимально допустимый угол захвата металла валками;

a_i , $[a]_{\min}$ и $[a]_{\max}$ - расчетное, минимально и максимально допустимое по устойчивости отношение осей раскатов неравноосных поперечных сечений;

$П_j$ и $П_n$ - производительность стана при прокатке j -го профилеразмера и производительность нагревательной печи.

Алгоритм решения задачи включает следующие операции:

Формирование фреймов Fr1.1 – Fr1.3 [1, 2] на основе, хранящейся в БД исходной информации. При этом значения исходных параметров присваиваются слотам указанных фреймов.

Расчет энергосиловых параметров анализируемого технологического режима с использованием принятой математической модели. Расчетные значения технологических и энергосиловых параметров записываются в таблицы слотов соответствующих фреймов Fr2.1 – Fr5.3. В результате производится означивание фрейма-прототипа и превращение его в конкретный фрейм заданного технологического процесса.

Анализ формоизменения металла (Fr2.1) с использованием производственных правил. При

этом в цикле по номеру прохода анализируется степень заполнения калибра δ_1 (слот δ_{1p} в суб-фрейме Fr2.3). При выполнении правила $\delta_1 < 1$ заполнение калибра считается нормальным, и это не требует каких-либо сообщений пользователю. В случае если $\delta_1 > 1.0$, возможно применение нескольких правил, т.е. возникает конфликтная ситуация. Однако поскольку в задачи диагностики входит только установление возможных неполадок технологического процесса, то выбирается правило, указывающее, к чему может привести переполнение калибра и выдается сообщение: «В проходе № ... имеет место переполнение калибра, возможно образование заусенцев, получение закатов в следующем проходе».

Анализ скоростного режима прокатки (Fr3.1). Если выполняются правила $\left(\frac{U_1}{U_{\max}} > 1.0 \right)$ или $\left(\frac{U_1}{U_{\min}} < 1 \right)$, выдаются диагностические сообщения: «В проходе № ... прокатка недопустима, так как максимально допустимая частота вращения валков ограничивает скорость прокатки, скорость прокатки, $\frac{U_1}{U_{\max}} = \dots$ » ИЛИ «В проходе № ... прокатка не допустима, так как минимально допустимая частота вращения валков ограничивает скорость прокатки $\frac{U_1}{U_{\min}} = \dots$ ».

Анализ условий захвата и устойчивости полос (Fr4.1). Выполнение правил $\frac{\alpha}{[\alpha]_{\max}}$ и $\frac{a_1}{[a]_{\max}}$ свидетельствует о возможности реализации режима деформации: «В проходе № ... не выполняется ограничения по углу захвата $\frac{\alpha}{[\alpha]_{\max}} = \dots$ » ИЛИ «В проходе № ... возможна потеря устойчивости полосы в калибре $\frac{a_0}{[a]_{\max}} = \dots$ ».

Проверка ограничений по прочностным ресурсам оборудования главных линий стана (Fr5.1 и Fr5.2). При этом в каждом проходе анализируются коэффициенты загрузки оборудования по усилию K_p и по крутящему моменту K_m . В зависимости от степени перегрузки оборудования возможна выдача следующих диагностических сообщений:

«В проходе № ... имеет место незначительная перегрузка по усилию $K_p = \dots$ (или по моменту $K_m = \dots$)»

«В проходе № ... имеется вероятность поломки оборудования $K_p = \dots$ (или $K_m = \dots$)»

«В проходе № ... прокатка недопустима по причине значительной перегрузки оборудования ($K_p = \dots$, $K_m = \dots$)»

Анализ степени загрузки электродвигателя привода клетки (Fr5.3). При соблюдении производственных правил ($K_{дв} < 1$) мощность электродвигателя не ограничивает режима деформации металла и выдается сообщение:

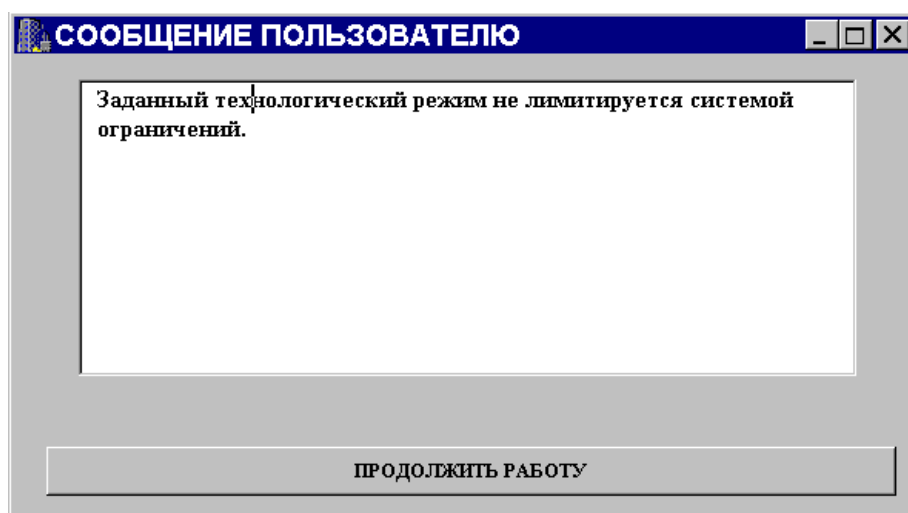
«В клетки №... имеет место незначительная перегрузка электродвигателя, которую можно устранить путем понижения скорости прокатки в 1.05 раза».

При значительной перегрузке электродвигателя выдается сообщение о недопустимости процесса прокатки.

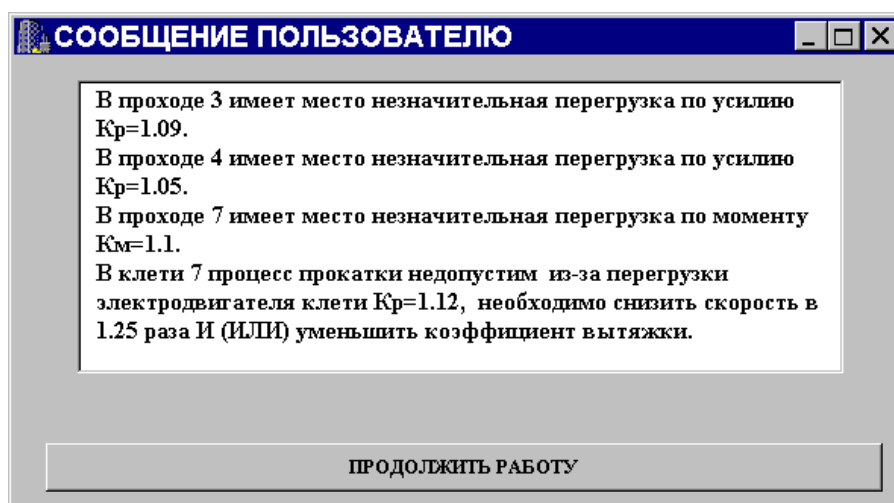
Если при проведении всех описанных выше операций будет установлено, что каждое из ограничений выполняется, то формируется сообщение: «Заданный технологический режим не лимитируется системой ограничений»

По описанному алгоритму выполнили моделирование диагностируемого режима прокатки. Для этого, не изменяя в БД данных о действующей калибровке валков и режимах деформа-

ции металла, в начальных параметрах калибровки задали $U_k = 20$ м/с. В результате расчетов на ЭВМ на экран было выдано сообщение о допустимости такого режима (рисунок 2,а).



а



б

а – при температуре выдачи заготовки из печи 1180°C ; б – при температуре выдачи заготовки из печи 1100°C

Рисунок 2 - Вид экрана с результатами диагностики технологического режима прокатки круга $\varnothing 12$ мм из стали 35ГС с конечной скоростью прокатки 20 м/с

Для объяснения полученного результата на экране дисплея и на принтере получили графики изменения технологических и энергосиловых параметров по проходам (рисунок 3 – кривые 1), а также таблицу калибровки валков (таблицу 1). Как видно из приведенных кривых, все ограничения режима прокатки (1.9 – 1.13) выполняются, так как расчетные параметры во всех клетях ниже допустимых. Причем в большинстве клетей имеется резерв по силовой загрузке оборудования.

Учитывая это, промоделировали режимы прокатки при пониженной температуре нагрева заготовок с целью экономии расхода топлива. Расчеты проводили по тому же алгоритму, задавая в начальных параметрах калибровки начальную температуру $t_0 = 1100^{\circ}\text{C}$. В результате моделирования выдано сообщение (рисунок 2,б) о недопустимости прокатки с такой температурой нагрева из-за перегрузки электродвигателя клети 7. Указанное сообщение пояснено на графиках (рисунок 3, кривая 2). Следуя выработанному экспертной системой совету, понизили конечную

скорость прокатки до 17 м/с (примерно в 1,25) и промоделировали процесс прокатки с такой скоростью.

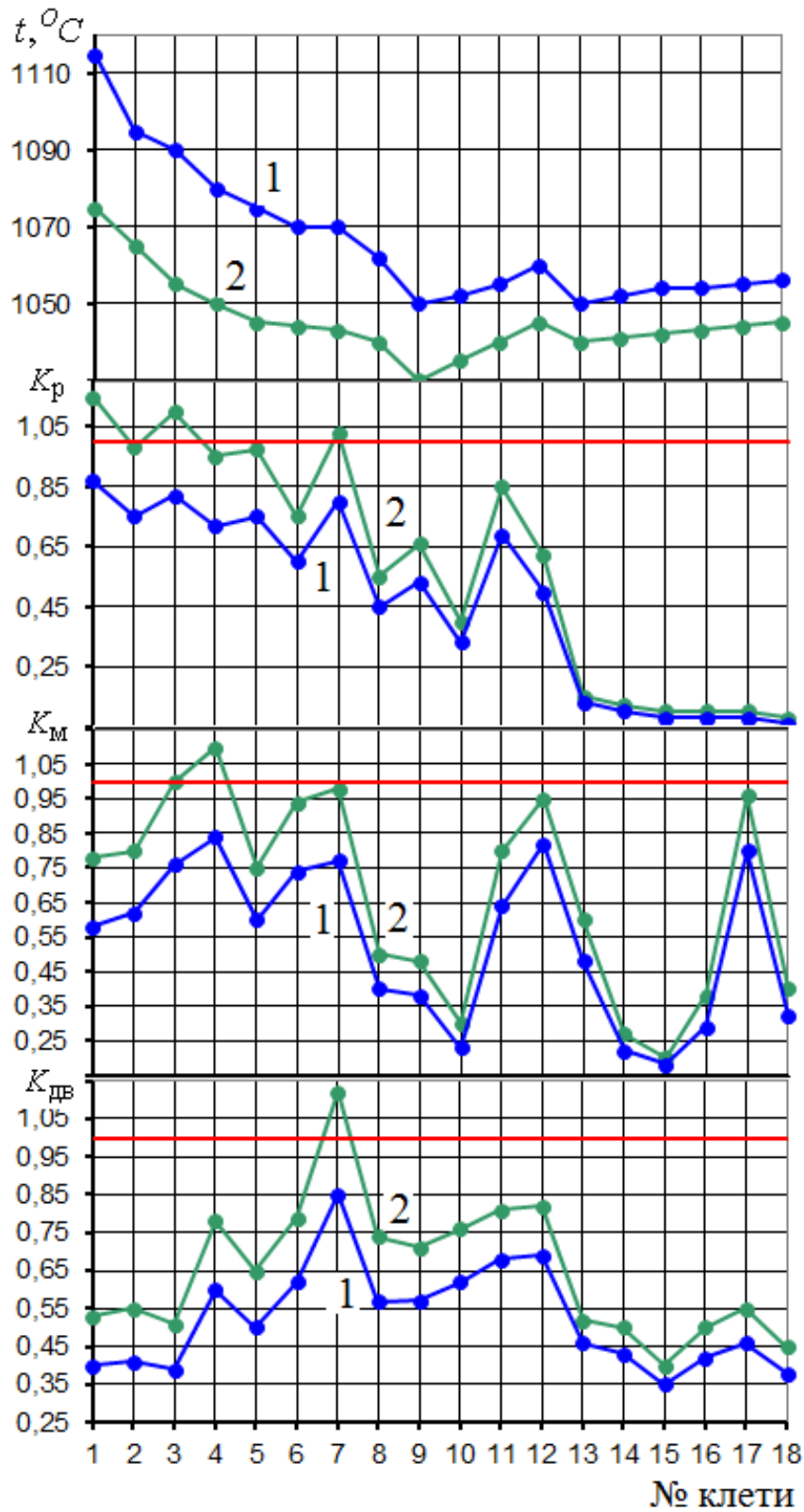


Рисунок 3 - Изменение технологических и энергосиловых параметров при прокатке круглой стали $\varnothing 12$ мм марки 35ГС с конечной скоростью 20 м/с: 1 - при температуре нагрева заготовки $t_0 = 1180 ^\circ\text{C}$; 2 - при $t_0 = 1100 ^\circ\text{C}$

Таблица 1 - Таблица калибровки валков при прокатке круглой стали Ø12 марки 35ГС при температуре нагрева 1180 °С с конечной скоростью 20м/с

№ клетки	Форма калибра	Размеры раската			λ	Диаметр валков		U	Частота вращения		t	P	M_{np}	$N_{дв}$
		H_1	B_1	ω		$D_{б}$	$D_{к}$		$n_{вал}$	$n_{дв}$				
		мм	мм	мм ²		мм	мм		м/с	об/мин				
1	Ящичный	70.0	112.0	7390.0	1.353	460	408.0	0.31	14.31	129.55	1176.5	1460.1	112.9	169.2
2	Ящичный	74.0	76.0	5350.0	1.381	460	399.6	0.42	20.19	182.71	1161.8	1229.3	114.5	242.2
3	Ящичный	49.0	88.0	3850.0	1.390	400	364.2	0.59	30.78	350.88	1151.6	1242.0	81.3	262.1
4	Ящичный	51.0	58.0	2830.0	1.360	400	356.2	0.80	42.82	466.71	1142.6	1076.3	89.3	400.4
5	Ящичный	33.50	68.0	2220.0	1.275	400	376.9	1.02	51.59	299.24	1137.2	1074.8	59.1	319.4
6	Ящичный	40.0	46.0	1680.0	1.321	400	368.5	1.35	69.73	404.41	1130.7	840.9	54.7	399.6
7	Шестиуг.	25.0	57.0	1200.0	1.400	400	387.9	1.88	92.72	417.22	1127.8	1109.6	55.0	534.4
8	Ребр. овал	39.0	31.0	920.0	1.304	400	374.3	2.46	125.34	442.44	1122.9	597.5	26.6	348.8
9	Овальный	18.0	47.0	695.0	1.324	400	390.2	3.25	159.16	405.85	1107.2	715.6	25.8	430.7
10	Ребр. овал	30.0	25.0	530.0	1.311	320	303.8	4.26	268.07	503.97	1107.8	431.6	16.2	455.1
11	Овальный	14.50	36.0	410.0	1.293	320	314.7	5.51	334.51	458.28	1108.9	471.6	13.8	484.2
12	Ребр. овал	23.0	19.0	330.0	1.242	320	305.6	6.85	427.95	504.99	1110.5	349.4	11.1	497.4
13	Овальный	11.30	28.0	260.0	1.269	320	314.5	8.69	527.83	775.91	1099.7	182.0	4.6	252.8
14	Ребр. овал	19.0	15.50	217.0	1.198	320	310.0	10.41	641.64	802.04	1101.4	129.8	3.5	233.6

Продолжение таблицы 1

№ клетки	Форма калибра	Размеры раската			λ	Диаметр валков		U	Частота вращения		t	P	M_{np}	$N_{дв}$
		H_1	B_1	ω		$D_б$	$D_к$		$n_{вал}$	$n_{дв}$				
		мм	мм	мм ²		мм	мм		м/с	об/мин				
15	Овальный	11.0	21.0	181.0	1.199	320	314.6	12.49	758.05	758.05	1102.0	101.4	2.2	177.5
16	Круглый	14.0	14.0	154.0	1.175	320	310.5	14.68	902.67	686.03	1102.9	100.6	2.4	226.0
17	Овальный	9.30	17.0	131.0	1.176	320	315.1	17.25	1045.68	794.72	1103.7	98.1	2.3	246.6
18	Круглый	12.0	12.0	113.0	1.159	320	312.2	20.0	1223.55	734.13	1104.8	73.3	1.6	199.4

Результаты расчетов приведены на рисунке 3. Как видно из приведенных графиков Кдв, перегрузка электродвигателя клетки устранена, но отмеченную выше перегрузку оборудования по усилиям и моментам устранить за счет понижения скорости прокатки не удастся. Однако, учитывая небольшую величину перегрузки, просчитанный режим можно считать допустимым согласно производственным правилам [1]. Пример приведен в таблицу 2.

Таблица 2 - Производственные правила для анализа нагруженности рабочих клеток

ЕСЛИ	ТО	Объяснение
$1.0 < K_p \leq 1.2$ или $1.0 < K_m < 1.2$	Перегрузку оборудования клетки можно считать допустимой, вероятность поломки деталей клетки невелика	Вероятность поломки деталей клетки невелика, так как коэффициент запаса прочности наиболее слабой детали получается не ниже 4,2 при допустимом 5.

Вывод. В результате диагностики режима прокатки на действующем прокатном стане установлено, что скорость прокатки круглой стали диаметром 12 мм при регламентированной температуре нагрева заготовки 1180 °С может быть увеличена с 17 м/с до 20 м/с (увеличение среднечасовой производительности стана - 17,5 %).

При скорости прокатки 17 м/с температура нагрева заготовки, может быть понижена до 1100 °С, что приведет к уменьшению расхода топлива.

Таким образом, применение экспертной системы технологии сортовой прокатки, разработанной с использованием элементов искусственного интеллекта, позволяет существенно повысить технический уровень проектирования, значительно сокращать сроки разработки и освоения новых технологических процессов, а также создавать оптимальные режимы прокатки сортовых профилей.

Библиографический список

1. Шилов В.А., Куделин С.П., Инатович Ю.В., Бондин А.Р. Экспертная система технологии сортовой прокатки / Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 9. С. 710-715.
2. 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. М.: РАСПАТЕНТ, 2001.

3. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инарович Ю.В. Калибровка прокатных валков. М.: Тепло-техника, 2010. 464 с.

4. Зюзин В.И., Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. Челябинск: Металл, 1993. 368 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРОМ

Иванова Е.В.

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

На фоне декларируемого роста национальной экономики условия ведения бизнеса в отдельных регионах страны характеризуются следующими особенностями, препятствующими повышению конкурентоспособности субъектов хозяйствования и региона в целом:

– специфика географического положения региона обуславливает повышенную стоимость сырья и материалов, снижает эффективность деятельности в различных сферах бизнеса;

– отсутствие конкурентоспособных производств продукции с высокой добавленной стоимостью и возможностей создания новых рабочих мест провоцируют отток квалифицированных специалистов;

– низкий уровень платежеспособного спроса в силу резкого сокращения интенсивности денежных потоков хозяйствующих субъектов сужает круг экономически целесообразных и инвестиционно-привлекательных видов деятельности.

Как было показано ранее [1], решение обозначенных проблем возможно благодаря интеграции производственных, научно-исследовательских, образовательных и финансовых структур на основе разнообразных форм сотрудничества, одной из которых является кластерная форма организации экономики.

Создание и развитие кластеров позволяет более полно использовать производственный потенциал региона, обеспечить существенную экономию за счет снижения транспортных затрат, повысить эффективность использования ресурсов, диверсифицировать структуру экономики за счет создания инновационных продуктов и реализации проектов импортозамещения, увеличить занятость и, в конечном итоге, повысить уровень благосостояния населения.

При этом формирование кластеров предполагает встраивание процессов кластеризации экономики в государственную промышленную и региональную политику. Однако переход от политики «выравнивания» социально-экономического развития регионов к политике формирования «полюсов роста» (или «центров опережающего развития»), доминирование государства, в ряде случаев, в процессах создания кластеров и несоответствие мер государственного регулирования уровню проблем кластера, следствием чего является замещение формирующихся естественным путем внутрикластерных связей навязанными «извне», являются следствием отсутствия продуманной государственной стратегии регионального развития. В то же время значимость реализации мер государственного регулирования кластеризации национальной экономики, направленных на создание благоприятных условий для возникновения и развития экономических кластеров, сегодня не вызывает сомнения и подтверждается рядом исследований [2-5].

Недостаточно результативные меры государственной поддержки кластерных инициатив обуславливают поиск подходов и инструментария эффективного управления кластером представителями бизнес-сообщества и научных кругов.

Накопление практики формирования образований кластерного типа в российской экономике, а также постепенное совершенствование методологических основ управления

кластерами демонстрирует выявление целого комплекса потенциальных проблем, свойственных данным структурам и ограничивающих эффективность их функционирования, а, следовательно, препятствующих интенсификации социально-экономического развития регионов, в частности:

- сложность обеспечения управляемости кластера, обусловленная разнородностью и множественностью субъектов кластера, смешанной формой интеграции, отсутствием имущественных рычагов влияния на партнеров по объединению, децентрализацией процесса принятия управленческих решений, многообразием отношений при дефиците надежной и оперативной информации о деятельности партнеров и их нежелании делиться друг с другом ресурсами;
- образование неоптимальной структуры кластера, подразумевающее включение в состав кластера неперспективных с позиции конкурентоспособности хозяйствующих субъектов, не обладающих необходимым инновационным потенциалом;
- чрезмерное инвестирование, предполагающее нерациональный отбор проектов для реализации, то есть отбор таких проектов, которые увеличивают не стоимость бизнеса, а его размеры;
- дисгармонизация внутрикластерных отношений, спровоцированная принятием неэффективных управленческих решений под влиянием интересов какой-либо доминирующей группы, то есть замещением взаимовыгодных условий взаимодействия, необходимых для эффективного функционирования кластера, паразитирующими, когда какой-либо субъект кластерного объединения игнорирует экономические интересы других субъектов.

Нивелированию данных проблем и нейтрализации соответствующих рисков будет способствовать применение экономико-математического моделирования интегрированных образований для обоснования целесообразности их состава, размера и других параметров, формирование на основе использования современных информационно-коммуникационных технологий и систем автоматизации управления прозрачной и качественно наполненной информационной среды – элемента системы управления, минимизирующего проявление эффектов асимметрии информации и повышающего качество методов и процедур отбора субъектов и проектов кластера.

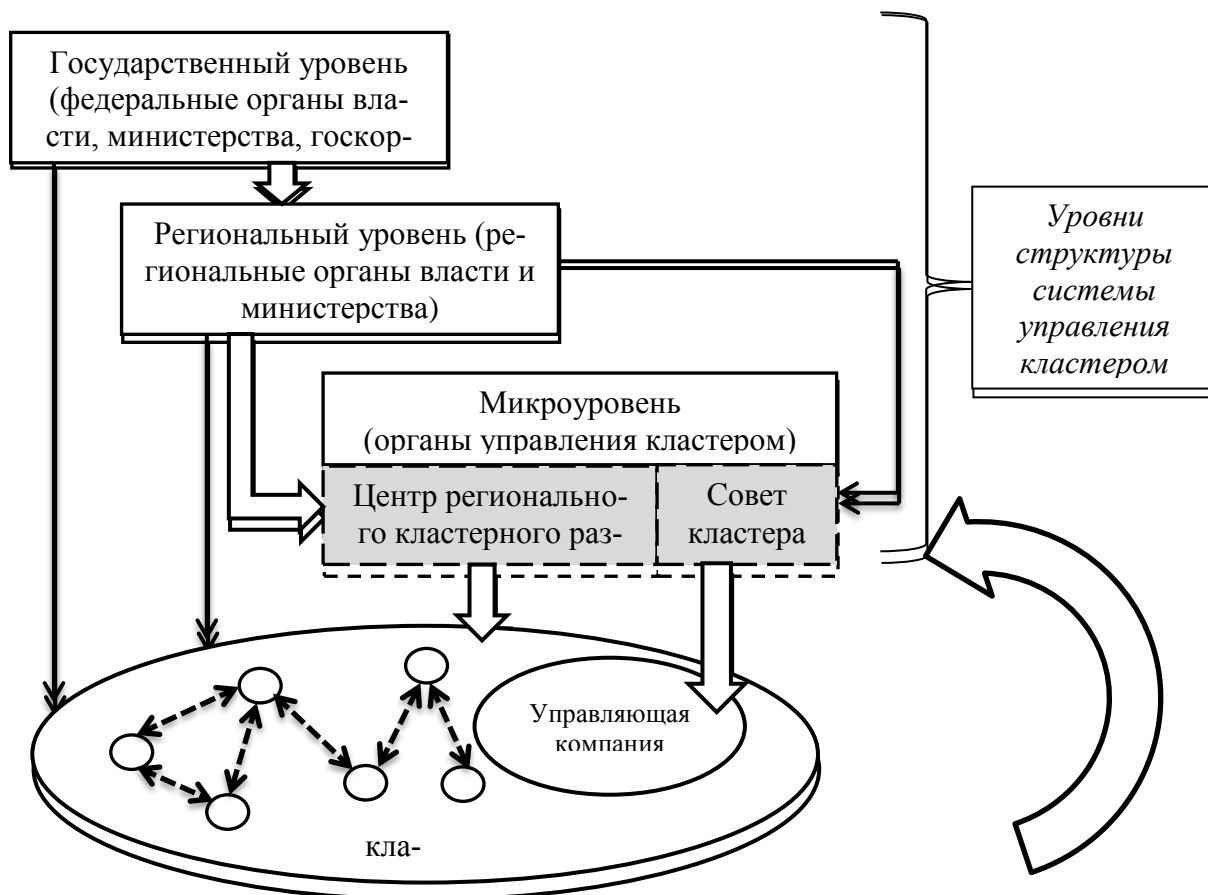
В условиях высокой волатильности рынков, потребностей, технологий отдельные подразделения, осуществляющие стратегическое планирование в каждом субъекте кластерной структуры, могут оказаться не в состоянии справиться с растущим потоком информации и новых знаний, а принимаемые на их основе решения могут потерять актуальность в связи с необходимостью дополнительных затрат времени на их согласование с другими участниками объединения.

Создание информационной подсистемы управления кластером и доведение стратегической и оперативной информации до отдельных бизнес-единиц будет способствовать активизации позиции каждого участника, повышению конгруэнтности общих и локальных целей и задач.

Весь комплекс информации, циркулирующей в подсистеме, или ее часть должны храниться и визуализироваться одновременно у различных субъектов интегрированной структуры. Несмотря на доступность информации в открытом виде, требуется ее криптографическая защита от изменений.

Однако формирование информационной подсистемы в рамках кластера осложняется спецификой данного типа интегрированного образования:

- множественностью органов, участвующих в управлении кластером (рисунок), что требует организационно-технологической совместимости компонентов их систем управления;
- наличием в структуре кластера конкурирующих субъектов, не желающих, в ряде случаев, раскрывать информацию о состоянии внутренней среды, рынках сбыта, поставщиках за пределами кластера и т.п.;
- коллегиальность принятия решений и, как следствие, ограниченная ответственность отдельных участников кластера за результаты совместной деятельности;



Задачи информационной подсистемы системы управления кластером					
Мониторинг текущего состояния субъектов кластера	Моделирование структуры кластерного взаимодействия	Аудит отчетности	Аналитическое исследование перспектив развития кластера	Обмен информацией	Создание баз данных

Основы формирования информационной подсистемы системы управления кластером			
Структура кластера	Характер взаимодействия элементов	Нормативно-правовая база	Внешние и внутренние социально-экономические, экологические, политические, технологические и другие условия ведения бизнеса

- Условные обозначения:
- косвенное воздействие ;
 - прямое воздействие;
 - субъект кластерного образования;
 - условные взаимодействия, характер которых определяется конкретной ситуацией;
 - альтернативные типы структур управления кластерами.

Рисунок – Роль и место информационной подсистемы в системе управления кластером

– наличием процессов самоорганизации в кластере (как в любой нормально функционирующей системе), запускающих механизм адаптации объединения (трансформация структуры, изменение функций, коррекция задач системы и т.п.) при изменении условий

внешней среды и/или конкурентных преимуществ участников (отсутствие новых идей, невозможность доведения научных разработок до стадии коммерциализации и прочее).

Данные особенности предполагают, что подсистема должна постоянно корректироваться и совершенствоваться, следуя тенденциям рынка, условиям производственно-хозяйственной деятельности и требованиям субъектов кластера. Это обстоятельство обуславливает наличие в кластерной структуре штата высококвалифицированных специалистов, обладающих знаниями как в области передовых информационных технологий и автоматизации управления сложных систем, так и в области управления проектами.

Создание информационной подсистемы, обеспечивающей доступ всем участникам кластера к внешней и внутренней информации, обмен знаниями и идеями, накопление больших объемов систематизированных и структурированных данных, оперативный трансфер знаний между отдельными субъектами управления, интеллектуальный анализ и моделирование данных, позволит кластеру сохранять заданный запас устойчивости, а субъектам кластера – получить синергетические эффекты от совместной деятельности.

Библиографический список

1. Иванова Е.В. О сущности и видах кластеров в экономике // Организатор производства. – 2012. - №3 (54). С.83-88.
2. Куценко Е. С. (2012). Региональная кластерная стратегия: маневрируя между провалами рынка и государства // Форсайт. – 2012. – Т. 6. – № 3. – С. 6-15.
3. Innovation Clusters in Europe: A statistical analysis and overview of current policy support. DG Enterprise and Industry Report [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/Tools_Resources/Cluster.pdf (Дата обращения 03.10.2017).
4. Ketels C. Recent research on competitiveness and clusters: what are the implications for regional policy? // Cambridge Journal of Regions, Economy and Society. – 2013. – №6(2). – P. 269-284.
5. Никитаева А.Ю. Активизация промышленного развития на платформе партнерских отношений: меры государственного регулирования // Journal of economic regulation (Вопросы регулирования экономики). – 2016. – Том 7. – № 4. – С.20-31.

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ СТАВКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПЛАТЕЖА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ И АДМИНИСТРАТИВНОГО ЦЕНТРА

Медведев А.В., Кисляков И.М.

*Кемеровский институт (филиал) РЭУ им. Г.В. Плеханова
г. Кемерово, Россия*

Действующее в 2017 г. в РФ законодательство [7] о назначения платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) предлагает следующую процедуру определения её размера для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей:

1) определение вида вредного воздействия на окружающую среду: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками, сбросы загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты, размещение отходов производства и потребления;

2) расчет платы за негативное воздействие на окружающую среду, платежной базой которой являются объем или масса выбросов, сбросов загрязняющих веществ либо объем или масса размещенных в отчетном периоде отходов производства и потребления. При определении платежной базы учитываются объем и (или) масса выбросов загрязняющих

веществ, сбросов загрязняющих веществ в пределах нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов, временно разрешенных выбросов, сбросов, превышающие такие нормативы, выбросы и сбросы (включая аварийные), а также учитываются лимиты на размещение отходов производства и потребления и их превышение;

3) внесение платы за негативное воздействие на окружающую среду с учетом корректировки ее размера производится не позднее 1-го марта года, следующего за отчетным периодом (при этом предполагается внесение авансовых ежеквартальных платежей, размер которых определяется по прошлогодним показателям общего платежа, деленного на 4, для всех лиц, кроме представителей среднего и малого предпринимательства);

4) наложение платежа за игнорирование внесения платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Вышеприведенная процедура, к сожалению, не подразумевает переговорного процесса между административным центром территории и производителем по вопросу уменьшения НВОС, которое может быть реализовано как за счет применения наилучших доступных технологий (НДТ), так и за счет изменения действующей технологии. Кроме того, она ориентирует возможный переговорный процесс на учет лишь текущего (а не потенциально возможного) загрязнения окружающей среды, что зачастую позволяет предприятию занижать соответствующие показатели и, тем самым, минимизировать свои штрафные санкции.

Нами разработаны алгоритмы определения диапазона уровня экологического платежа $\alpha_s \in [\alpha_s^{\text{рав}}, \alpha_s^{\text{ндт}}]$ подразумевающие взаимодействие административного центра территории и производителя, основанные на математических моделях, представленных в работах [3],[5]. Здесь $\alpha_s^{\text{рав}}$ – ставка равновесного экологического платежа, $\alpha_s^{\text{ндт}}$ – ставка экологического платежа, соответствующего установке НДТ. Указанные математические модели представляют собой модели одношаговой задачи линейного оптимального управления, позволяющие выявлять экономический потенциал производственной деятельности производителя.

Следует отметить, что при взаимодействии производителя и административного центра обоим субъектам важно принятие эффективного управленческого решения (предприятию необходим анализ различных аспектов деятельности, среди которых большое значение имеют эколого-экономические показатели [2], а административному центру необходим анализ проекта с учетом целей населения, проживающего на территории).

Алгоритм определения верхней границы диапазона экологического платежа $\alpha_s^{\text{ндт}}$ схематично представлен на рисунке 1:

1) сбор статистических данных, касающихся экономического проекта (входные параметры): установлены или нет НДТ (если НДТ установлены алгоритм заканчивается), количество видов продукции, ставка дисконта, горизонт планирования, доля ФОТ от выручки, стоимость ОПФ, срок службы ОПФ, стоимость продукции, производительность ОПФ, спрос на продукцию, обороты, ПДВ, удельный выброс на единицу продукции и налоговые показатели: ставки налогов, установка специалистом-экологом, являющимся представителем административного центра, предполагаемой ставки экологического платежа на нулевом уровне;

2) внесение статистических данных в математическую модель из [3],[5];

3) поиск решения построенной после пунктов 1)-2) математической модели из [3],[5], определение максимально возможной NPV (Net Present Value) и суммы налогов, включающей экологический платеж при ставке экологического платежа $\alpha_s=0$, запись полученных решений;

4) проверка условия относительно величины прибыльности/рентабельности проекта ω , рассчитываемой как отношение полученных денежных средств после реализации продукции к общим затратам: если прибыльность ω больше ω^* (где ω^* – минимальная прибыльность/рентабельность согласно общепризнанным стандартам, задаваемым по отраслям экономики), то возвращение на пункт 2) с увеличением ставки экологического платежа α_s на заданный шаг h (например, на 0,1%) и прохождение пунктов 2)-3) до момента ($\alpha_s^{\text{тек}}$), когда ставка экологического платежа приведет к тому, что ω станет меньше ω^* ;

5) расчет затрат предпринимателем на установку НДТ и сравнение этих затрат с раз-

ницей между прибылью, полученной при $\alpha_s=0$ и при $\alpha_s^{\text{тек}}$:

- если затраты на НДТ больше искомой разницы, то проект не запускается;
- если затраты на НДТ меньше искомой разницы, то проект выгоден, проект запускается с НДТ (административный центр разрешает запуск производства с минимальными НВОС, предприниматель запускает проект и получает прибыльность/рентабельность не меньше, чем минимально допустимая по отрасли). Отметим, что следование предложенному выше алгоритму приводит либо к установке НДТ, либо к остановке запуска проекта.

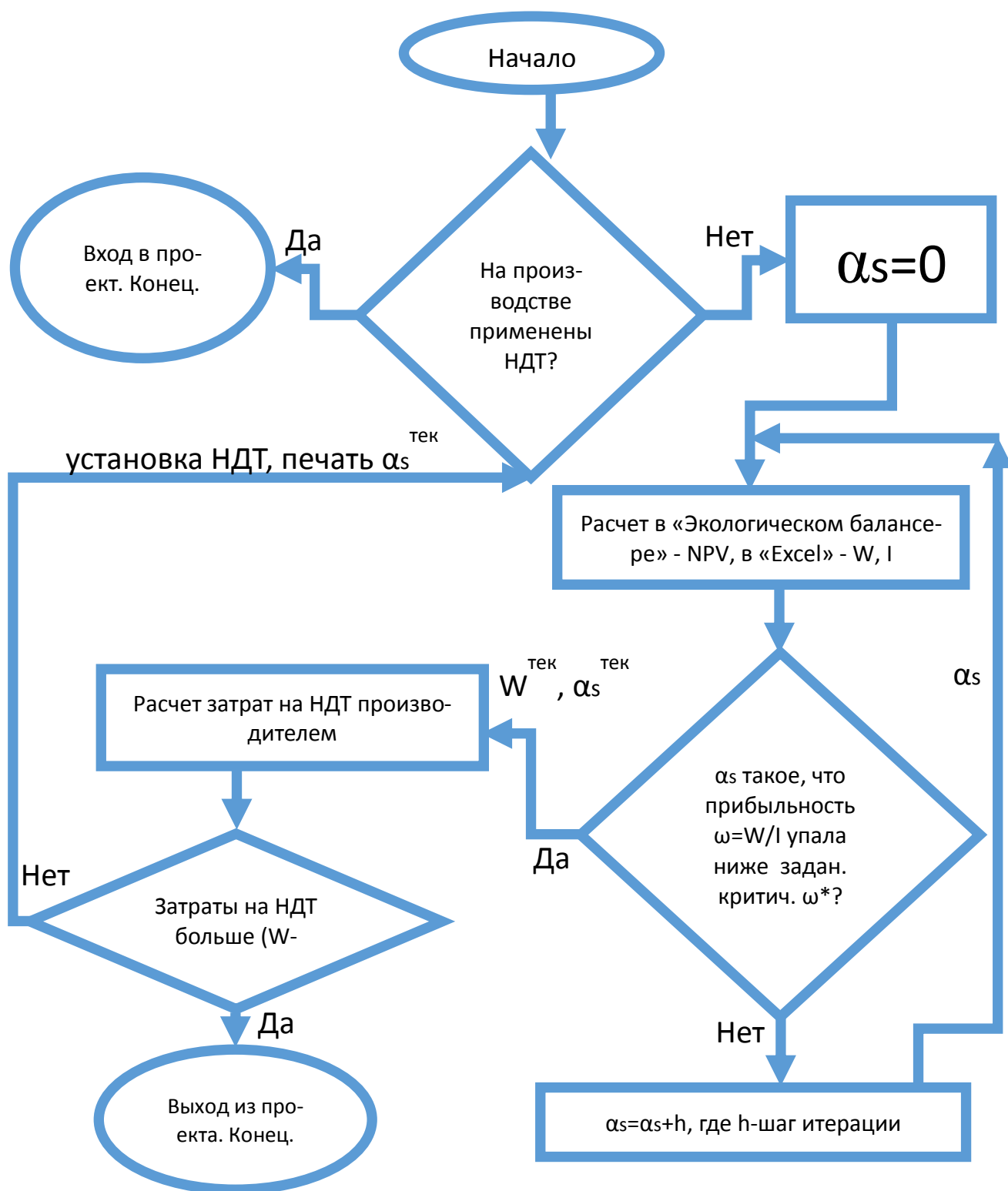


Рисунок 1 - Алгоритм определения уровня экологического платежа α_s

На рисунке 2 приведен алгоритм получения $\alpha_s^{\text{рав}}$ путем определения точки пересечения зависимостей, возникающих при численной реализации проекта в интересах либо только производителя ($\mu=1$), либо только административного центра ($\mu=0$).

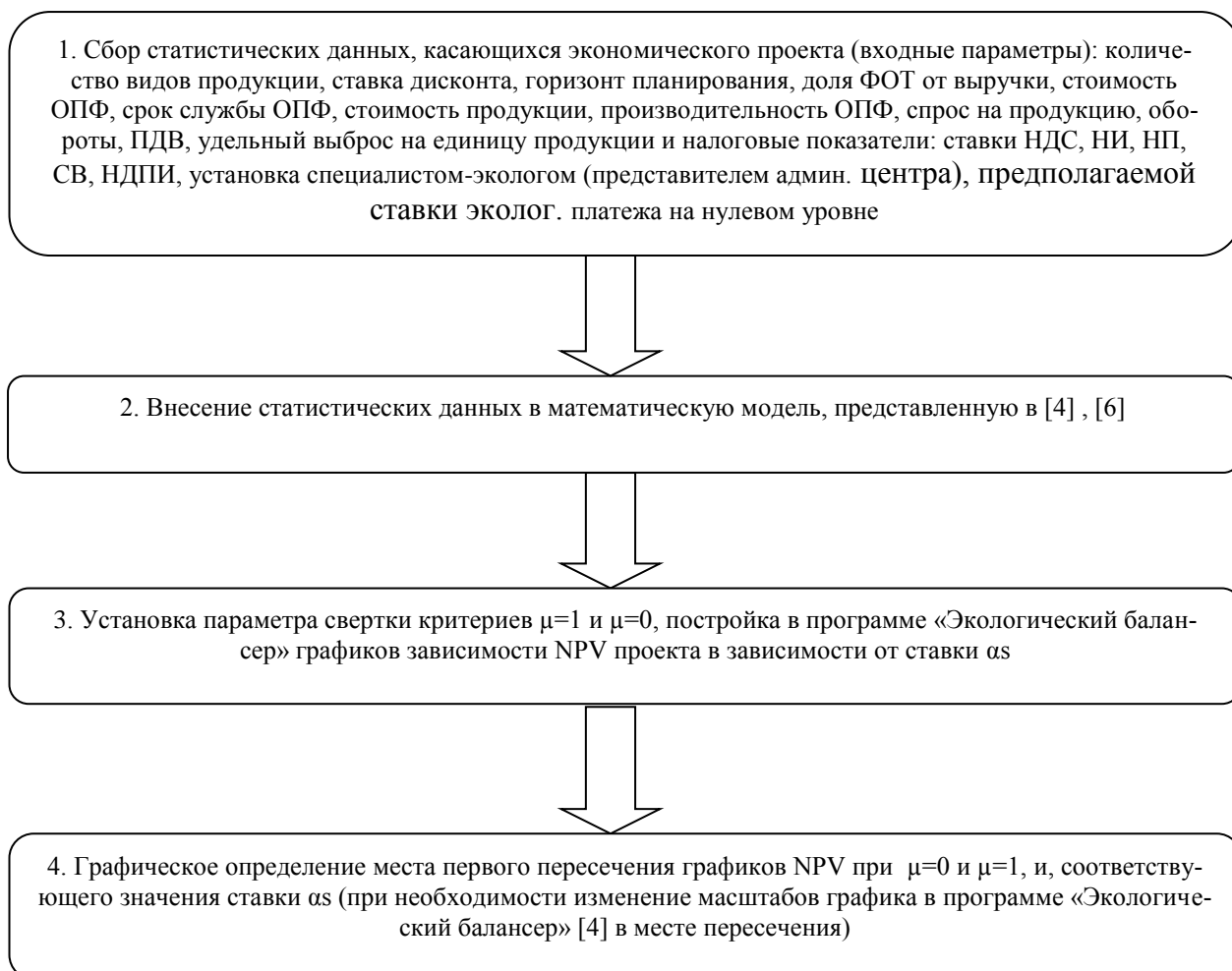


Рисунок 2 - Алгоритм определения нижнего уровня ставки равновесного экологического платежа $\alpha_s^{\text{рав}}$

Здесь μ – параметр перераспределения интересов производителя и управляющего центра, представляющий собой весовой коэффициент выпуклой линейной комбинации свертки из критериев (см. модели в работах [3], [5]).

На рисунке 3 приведены примеры построения, для двух разных эколого-экономических проектов, графиков величины NPV в зависимости от α_s при $\mu=0$ и $\mu=1$.

Для программной реализации алгоритмов определения уровней экологического платежа $\alpha_s^{\text{рав}}$ и $\alpha_s^{\text{ндт}}$ разработана программа для ЭВМ «Автоматизированный программный комплекс определения экологических платежей предприятия» [1], позволяющая:

1) вносить данные (в том числе, предполагаемый уровень ставки экологического платежа), касающиеся эколого-экономического проекта;

2) проводить оперативные расчеты с целью определения оптимума NPV с необходимым количеством итераций по величине ставки экологического платежа;

3) строить и выводить на печать графики зависимостей NPV от любого параметра проекта и от ставки экологического платежа в требуемом масштабе.

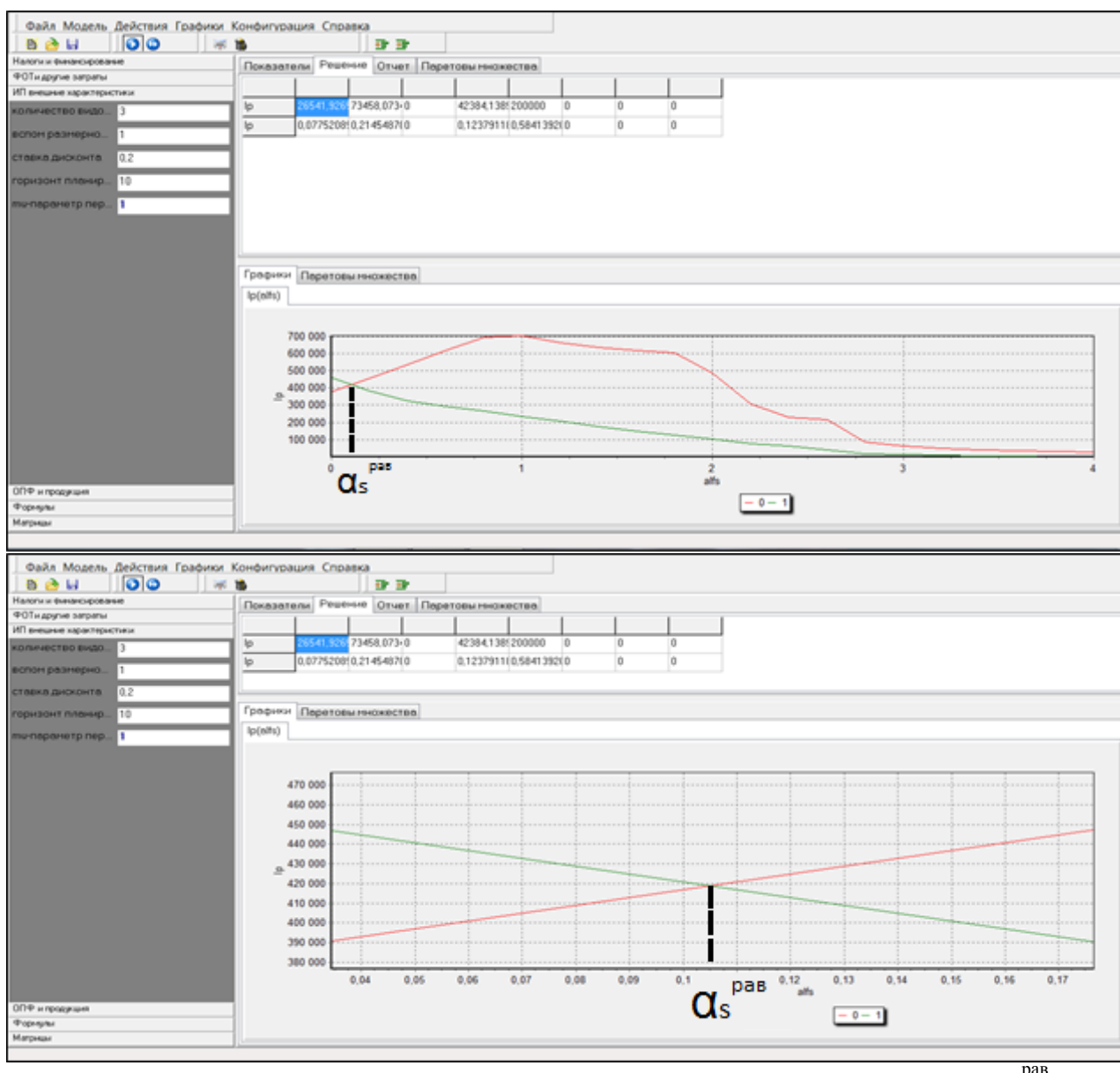


Рисунок 3 - Примеры построения графиков величины NPV и определения α_s

Таким образом, программа для ЭВМ «Экологический балансёр» реализует расчетные шаги (расчет оптимальной величины NPV в зависимости от заданных параметров моделей, построение графиков) алгоритмов определения границ диапазона уровня экологического платежа $\alpha_s \in [\alpha_{s\text{рав}}, \alpha_{s\text{ндт}}]$. Использование предложенных алгоритмов и разработанных программных комплексов в системах поддержки принятия решений [4], [6] может лежать в основе правил взаимодействия участников эколого-экономических проектов, направленных на улучшение экологической обстановки в регионах при реализации проектов, предполагающих НВОС.

Библиографический список

1. Автоматизированный программный комплекс определения экологических штрафов предприятия. Программа для ЭВМ. Свидетельство о регистрации №2014612483 от 26.02.2014. Правообладатели А.В. Медведев, И.М. Кисляков.
- 2) Оптимизационная информационно-аналитическая система для оценки эффективности эколого-экономических проектов предприятия // Программа для ЭВМ. Свидетельство о регистрации в Роспатенте №2016617464 от 09.09.2016. Правообладатели: Д.А. Кацура, И.М. Кисляков, А.В. Медведев, П.Н. Победаш, А.Н. Трусев.
2. Киселева Т.В., Михайлов В.Г. Экспресс-анализ эколого-экономических показателей предприятия, как элемент принятия эффективного управленческого решения // Информа-

онно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Кемерово, Кузбасский государственный технический университет. - 2014. - С. 71-72.

3. Кисляков И.М. Моделирование эколого-экономического взаимодействия инвестора и управляющего центра в императивах устойчивого развития промышленного региона // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5-3. – С. 528-532.

4. Кисляков И.М. Разработка системы поддержки принятия решений при определении уровня экологического штрафа производственного предприятия // Программные продукты и системы. – 2015. – №2(110). – С.103-107.

5. Кисляков И.М., Медведев А.В. Модификация модели эколого-экономического взаимодействия предприятия и административного центра в регионе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №8-3. – С.438-441.

6. Медведев А.В., Кисляков И.М. Автоматизированный расчет экологических платежей при взаимодействии предприятий угольной отрасли с региональным управляющим центром // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2017 – №3. (В печати).

7. Федеральный закон РФ от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "Об охране окружающей среды".

ПРОЕКТНЫЙ ОФИС В ОРГАНИЗАЦИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И СЛОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ

Аверина Т.А., Аксёнова Ю.С.

Воронежский государственный технический университет (ВГТУ), г. Воронеж, Россия

Глобальное ускорение развития технологий и коммуникаций особенно остро ставит задачу освоения практики проектного управления перед российскими традиционными компаниями, которые вынуждены бороться за свое место в конкурентных условиях стремительно меняющегося рынка.

В настоящий момент не существует единой, общепризнанной теории или методики расчета эффективности внедрения проектного управления, но накоплен большой объем исследований, который однозначно показывает, что проектное управление результативно работает и приносит вполне реальный эффект.

По оценке компании PM Expert, озвученной еще на конференции «Управление проектами 2012», при затратах на проектный офис в диапазоне от 2 до 8% от бюджета проекта (зависит от соотношения капитальных и операционных затрат в проекте), проектное управление дает эффект от 20 до 30 % от бюджета. Источниками данного эффекта являются: эффективное управление ресурсами, ранняя идентификация рисков и управление ими и пр.

Также можно привести данные Международной ассоциации управления проектами (IPMA) о том, что использование современной методологии и инструментария управления проектами позволяет экономить порядка 20-30 % времени и 15-20 % средств [15].

Совершенно закономерно, что наравне с проектным управлением немалый интерес стал представлять и такой управленческий инструмент, как проектный офис.

Что же представляет собой проектный офис и какие перспективы он открывает перед организацией?

В общем виде проектный офис можно представить как обособленное структурное подразделение, основным назначением которого является оказание поддержки руководящим структурам в сборе необходимой информации, разработке и внедрении стандартов бизнес-процессов, управлении и координации материальных и трудовых ресурсов, направленных на реализацию инвестиционных проектов.

Структура проектного офиса зависит от специфики самой компании, её организаци-

онной структуры, стиля и методов корпоративного управления, содержания и масштаба проектов, а состав задач и функций проектного офиса - от типа данного подразделения. Проектный офис по иерархии может находиться в составе структуры высшего руководства, на позициях департаментов управления, единиц бизнеса или на уровне локальных мероприятий. Несмотря на то, что универсальных решений не существует, в процессе внедрения можно выделить несколько основных этапов, соблюдение которых является обязательным условием и залогом успешной адаптации новой организационной структуры [10]:

1. Проектная диагностика. Происходит определение наиболее подходящего типа проектного офиса.

2. Планирование и организация проектного офиса. Разрабатывается концепция и структура проектного офиса, осуществляется постановка целей.

3. Подбор проектного персонала. Проектная команда может состоять из специалистов компании, персонала, привлеченного на аутсорсинг, удаленных экспертов.

4. Обучение проектного персонала. Чтобы выровнять понимание системы управления проектами, выработать единую терминологию и подход к реализации проектов, целесообразно провести обучение общей методологии проектного управления всех сотрудников.

Также стоит отметить, что проектное управление может вполне успешно существовать и само по себе, а проектный офис – это лишь функциональная надстройка, призванная облегчить управление и повысить эффективность выполняемых проектов и организации в целом.

Чтобы понять, какой именно проектный офис требуется организации, и на каком уровне он будет функционировать, необходимо рассмотреть наиболее распространенные типы проектных офисов, каждому из которых присущ определенный характер и набор задач.

В.В. Богданов [11], российский эксперт в области управления проектами, выделяет три типовых варианта организации работы офиса управления проектами:

1. Проектная канцелярия;
2. Центр ответственности за текущие проекты;
3. Центр прибыли.

Также выделяют [14]:

1. Базовый проектный офис («Метеостанция»). Обеспечивает руководство информацией «о состоянии погоды», то есть всей управляемой системы. Основная задача проектного офиса такого типа — сбор информации без непосредственного влияния на проекты. Офис может быть эффективным в случае острой необходимости оперативного получения полной и достоверной информации о состоянии проектов.

2. Управляющий проектный офис. Такой тип проектного офиса часто называют «Управляющей башней», с которой осуществляется надзор за окружающим пространством. В его полномочия может входить как непосредственное управление проектами, подразумевающее принятие управленческих решений по срокам, бюджету, качеству и т.п., так и ответственность за достижение целей перед высшим руководством. Другая его важная задача — повысить эффективность выполнения проектов путем внедрения стандартов управления.

3. Ресурсный проектный офис. Обеспечивает организацию человеческими ресурсами. Целевая функция — повышение эффективности использования ресурсов квалифицированных специалистов и менеджеров.

4. «Стратегический программный». Осуществляет портфельное планирование, стратегическое управление проектами и поддержку деятельности портфельного управляющего инвестициями компании. Главная цель — связать проекты организации с ее стратегическими планами, обеспечить связь операционного менеджмента и стратегического.

К еще одной разновидности проектного офиса, не принадлежащего стандартной классификации, относится Scrum-офис. С появлением в мировой практике новых методов и принципов работы проектных организаций, классический подход к реализации проектов стал уступать в эффективности современным методологиям. Гибкая методология Agile, которая представляет собой набор идей и принципов, на сегодняшний день используется почти в 40 % компаний согласно отчету Международной консалтинговой компании ESI International.

Основная суть гибкой методологии Agile состоит в том, что вместо последовательного выполнения проект разделен на несколько частей, каждая из которых должна быть завершена к определенному заранее установленному сроку. Для всего проекта осуществляется лишь верхнеуровневое планирование и определяется желаемый конечный результат, а также его цели и задачи. На основе этих принципов были созданы отдельные гибкие методы, такие как Scrum, Kanban, Crystal, Lean и многие другие [9].

Как уже было отмечено ранее, вместе с самим гибким методом также появилось понятие Scrum-офиса - проводника между Scrum-Командой и менеджментом организации, который может состоять из одного человека или небольшой команды.

Основная цель создания данного элемента структуры – избавить команду от непроизводительных процедур, вроде отчётности. Scrum-PMO [15] берет на себя две основные функции: представление проекта в процессе управления - все издержки управления, подготовка высокоуровневых планов проекта, документов по содержанию, оценка рисков, участие во встречах полностью находятся под его ответственностью и всю отчётность по проекту для высшего руководства.

Чем бы ни была вызвана необходимость перехода к подобной практике, на стадии планирования внимание зачастую уделяется только «видимым» изменениям, т.е. описанию внедрения проектного подхода. В то время как самые существенные проблемы связаны с влиянием нововведений на внутреннюю среду организации [1]. Большинство компаний ощущают эти проблемы, но не имеют необходимых инструментов для их решения.

Внедрение проектного подхода непосредственно связано с реакцией уже сложившейся корпоративной культуры на внешние изменения. Менять привычные устои организацию заставляет, в первую очередь, желание изменить систему ценностей каждого отдельного сотрудника, его отношение к ответственности за результаты работы, как своей, так и всей компании в целом, а также намерение сделать процесс оценки результатов прозрачным и понятным, доступным для измерения. В этом случае для освоения принципиально новых методов управления необходимо иметь тщательно подготовленное и иллюстрированное обоснование целесообразности их внедрения, возможных преимуществ и эффекта в количественном и качественном выражении.

Игнорирование роли индивида как основной движущей силы организации заметно снижает вероятность признания сотрудниками значимости культурных преобразований. Действия высших руководителей оказывают решающее влияние на формирование организационной культуры, так как их поведение и устанавливаемая стратегия организации демонстрируют определенные стандарты и нормы, которые затем усваиваются всей организацией и представляют собой особый элемент управления проектами — корпоративную культуру организации [2].

Рассмотрим какой тип корпоративной культуры больше подвержен внешним изменениям и позволит легче произвести внедрение целого управленческого блока.

Необходимо различать сильную и слабую культуры организации. Сильная корпоративная культура является явным преимуществом, но в то же время создает существенные препятствия для проведения изменений.

При прочих равных условиях, чем моложе организация, тем больше вероятность изменений в корпоративной культуре. Такая закономерность легко объяснима: слабая «молодая» культура больше подвержена влияниям, чем сильная, поэтому в крупных организациях с устоявшимися традициями необходимо создание стратегии по внедрению нововведения и управления корпоративной культурой, которая поможет раскрыть основные причины и цели преобразования управленческой структуры в соответствии с миссией и целями компании. [12].

Особое внимание стоит уделить тому факту, что при наличии в организации проектного управления, корпоративная культура тоже может перерасти в особую форму культуры проекта, которая способствует становлению эффективной команды.

Исходя из этого, основной интерес представляет процесс интеграции культуры отдельных проектов и команд в общую культуру организации.

С целью сплочения персонала и распространения единой для всех системы ценностей и взглядов на уровне организации, необходимо проведение различных мероприятий, способных упростить переход к новой организационной структуре, которым сопровождается внедрение в нее проектного офиса. Для команды должна быть характерна ориентация на результат не только своего проекта, но и результат эффективной деятельности компании в целом. Формирование команды проектного офиса - отдельный и сложный вопрос, требующий отдельного рассмотрения.

Но на этом трудности с переходом к культуре проектного офиса не заканчиваются. Ведь важно также обосновать появление в организации наделенного правами и полномочиями нового структурного подразделения, часто конкурирующего со средним и старшим менеджментом.

Согласно отчету, опубликованному Международной консалтинговой компанией ESI «The Global State of PMO», посвященному состоянию проектных офисов по всему миру, чаще всего участниками исследования выделялись такие проблемы, как недостаточная ценность деятельности проектного офиса (44 %), низкая проектная зрелость в организации (41%), недостаток поддержки руководства (32 %). [6] Соответственно необходимо вести разъяснительную работу в организации относительно причин создания PMO и, что еще более важно, о результатах его работы и успешно реализованных проектах.

Таким образом, внедрение проектных офисов любого типа в систему управления тоже является проектом, и весьма трудным. Но уже на ранних этапах возможно спрогнозировать вероятность успеха подобной инициативы с помощью оценки нескольких ключевых факторов, непосредственно влияющих на процесс внедрения проектного офиса в структуру организации.

Библиографический список

1. Аверина Т.А. Внедрение проектного офиса и его влияние на корпоративную культуру организации / Т.А. Аверина, Ю.С. Аксенова / Экономика и менеджмент систем управления. 2017. №3.1 (25) С. 104-109.
2. Аверина Т.А. Корпоративная культура, её типология и особенности управления / Т.А. Аверина, Е.А. Авдеева / Экономика и менеджмент систем управления. 2013. Т. 7. №1.1. С. 124-134.
3. Баркалов С.А. Управление проектами: путь к успеху / С.А. Баркалов, Е.В. Баутина, О.Н. Бекирова, И.В. Буркова, Т.В. Насонова / Учебно-методический комплекс / Воронеж, 2017.
4. Чурилов А. А. Понятие, роль и актуальность проектного управления в России // Молодой ученый. — 2013. — №3. — С. 299-301.
5. The Project Management Office: Aligning Strategy & Implementation, PMI, 2014. [Электронный ресурс] URL: <http://www.pmi.org/media/pmi/documents/public/pdf/whitepapers/pmo-strategy-implement.pdf> (дата обращения: 3.04.2017)
6. Educational Services Institute International «The Global State of the PMO: An Analysis for 2015», ESI, 2015. [Электронный ресурс] URL:
7. http://www.strategyex.com.sg/pdf/RR/SGRR_The_Global_State_of_the_PMO_Full_Report_2015.pdf (дата обращения: 27.03.2017)
8. Заренков В.А. Корпоративная культура как особая составляющая управления проектами // Вестник гражданских инженеров. - 2011. - № 1. - С. 128-133.
9. Методология управления проектами Agile [Электронный ресурс] URL: <https://gantbpm.ru/agile/> (дата обращения: 2.04.2017)
10. Гнедых В. А. Особенности организации проектного офиса в компании // Молодой ученый. — 2015. — №9. — С. 576-581.
11. Богданов, В. В. Управление проектами. Корпоративная система — шаг за шагом. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. — 248 с.
12. Заренков В.А. Корпоративная культура как особая составляющая управления проектами // Вестник гражданских инженеров. - 2011. - № 1. - С. 128-133.
13. Сайт группы компаний «Проектная ПРАКТИКА» Электронный ресурс] / URL:

<http://www.pmpractice.ru/knowledgebase/publications/?id=1618&detail=Y>

14. Проектный офис [Электронный ресурс] URL: <http://forpm.ru/проектный-офис/>

15. http://www.e-xecutive.ru/wiki/index.php?title=Управление_проектами&oldid=6641

16. Оригинал:<http://www.pmhut.com/the-scrum-pmo>

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА НАЛИЧИЯ ПРОБЛЕМЫ

Власенко А.Е., Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Кожевников А.А.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей –
филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России*

В соответствии с Федеральным законом от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» администрацией Новокузнецкого муниципального района проводится разработка стратегии социально-экономического развития территории. Основная цель стратегии - определение путей повышения уровня и качества жизни населения, улучшение социально-экономических условий, обеспечение устойчивого развития территории, повышение привлекательности территории для проживания и инвестиций. В связи с тем, что социально-экономическое развитие территории, включает в себя множество сфер и отраслей, для разработки стратегии были привлечены группы специалистов в каждой области. В качестве экспертов и аналитиков в области охраны здоровья выступили сотрудники Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей (ГБОУ ДПО НГИУВ, г. Новокузнецк). Ставилась задача анализа ситуации и выработки конкретных управленческих мероприятий, наиболее приоритетных с позиции решения проблем в сфере общественного здоровья жителей Новокузнецкого района. В связи с этим появилась необходимость разработать алгоритм, позволяющий определять проблемы в сфере здоровья населения конкретной территории.

Цели и задачи: разработать систему мониторинга показателей общественного здоровья, позволяющую своевременно выявлять проблемы и определять необходимые управленческие мероприятия с учетом выявленной проблемной ситуации. Для этого необходимо: составить перечень индикаторов общественного здоровья, описывающий состояние здоровье населения региона; разработать интегральный индекс наличия проблемы (ИИНП), обобщающий информацию о соответствии показателя нормативам и его динамике; разработать целевые рекомендации и мероприятия.

Материалы и методы: информация по Новокузнецкому муниципальному району и Кемеровской области взята из статистических сборников «Здравоохранение в Кузбассе» и «Экология Кемеровской области», а также из online базы данных показателей муниципальных образований, расположенной на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики. Для сравнения точечных оценок относительных показателей применялся критерий хи-квадрат (χ^2). Оценка коэффициентов формулы расчета ИИНП осуществлялась с помощью линейной регрессии. Построение модели психологического риска проводилось с помощью логистической регрессии методом принудительного включения. Различия в сравниваемых группах считались значимыми при уровне значимости различий $p < 0,05$.

Результаты исследования: на основе Указа Президента РФ «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения» от 7 мая 2012 года N 598 [2] был сформирован список основных показателей оценки общественного здоровья. Данный перечень включает в себя 13 показателей, такие как смертность, рождаемость, естественный прирост, заболеваемость социально-значимыми заболеваниями и другие.

Для получения единой оценки показателя с позиции наличия проблемы предложен интегральный индекс наличия проблемы. Он представляет собой число от 0 до 1, где 1 – проблема отсутствует, 0 - проблема явно выражена. Особенностью данного индекса является то, что

по его значению можно однозначно определить не только сам факт наличия проблемы, но и то, в чем именно эта проблема заключается (несоответствие нормативам или неблагоприятная тенденция, или и то, и другое). Для этого были определены градации индекса, соответствующие конкретным ситуациям. Если ИИНП больше, либо равен 0,7, то показатель находится, в так называемой, зеленой зоне – *зоне отсутствия риска* – проблемы нет (показатель находится в пределах нормы и имеет благоприятную тенденцию). Если значение ИИНП лежит в пределах от 0,5 до 0,7, то показатель в желтой зоне – *зоне возможных рисков* (показатель соответствует нормативам, но имеет неблагоприятную тенденцию). Если значение ИИНП находится в диапазоне от 0,3 до 0,5 включительно, то показатель в красной зоне – *зоне высокого, но контролируемого риска* (показатель не соответствует нормативам, но имеет благоприятную тенденцию). И если значение ИИНП ниже 0,3, то показатель в чёрной зоне – *зоне высокого риска* (показатель не соответствует нормативам и имеет неблагоприятную тенденцию).

Для расчета ИИНП необходимо знать значение анализируемого показателя за последние два-три года. Также, необходимо знать значение нормативов, в качестве которых могут выступать значения показателя по области или стране, либо нормативы могут определяться экспертным путём. Индекс наличия проблемы учитывает направленность показателя, то есть к чему он должен стремиться: к минимуму (например, смертность, инвалидность, заболеваемость) или к максимуму (рождаемость, продолжительность жизни, прирост населения и др.) Алгоритм расчета ИИНП представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы расчета интегрального индекса наличия проблемы

№	Этап	Формула
1.	Расчет соответствия показателя норме (НП)	$\begin{aligned} \text{НП}^{\min} &= \begin{cases} 1, \text{ если } a_j \leq \text{norm} \\ 0, \text{ если } a_j > \text{norm} \end{cases} \\ \text{НП}^{\max} &= \begin{cases} 1, \text{ если } a_j \geq \text{norm} \\ 0, \text{ если } a_j < \text{norm} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$ <p>где НП^{\min}, НП^{\max} – соответствие норме для показателей, стремящихся к минимуму и максимуму соответственно; a_j - значение показателя за последний анализируемый год; norm - значение норматива для анализируемого показателя.</p>
2.	Расчет разницы между нормативом и показателем, по отношению к нормативу (НПР)	$\begin{aligned} \text{НПР}^{\min} &= \begin{cases} \frac{\text{norm} - a_j}{\text{norm}}, \text{ если } \frac{a_j}{\text{norm}} < 2 \\ -1, \text{ если } \frac{a_j}{\text{norm}} \geq 2 \end{cases} \\ \text{НПР}^{\max} &= \begin{cases} \frac{a_j - \text{norm}}{\text{norm}}, \text{ если } \frac{a_j}{\text{norm}} < 2 \\ 1, \text{ если } \frac{a_j}{\text{norm}} \geq 2 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$ <p>где НПР^{\min}, НПР^{\max} – разница между нормативом и показателем, по отношению к нормативу</p>
3.	Расчет показателя оценки тенденции показателя (ТП)	$\begin{aligned} \text{ТП}^{\min} &= \begin{cases} 1, \text{ если } a_j < a_{j-1} < a_{j-2} \\ -1, \text{ если } a_j > a_{j-1} > a_{j-2} \\ 0, \text{ если } (a_j \geq a_{j-1} \leq a_{j-2}) \text{ или } (a_j \leq a_{j-1} \geq a_{j-2}) \end{cases} \\ \text{ТП}^{\max} &= \begin{cases} 1, \text{ если } a_j > a_{j-1} > a_{j-2} \\ -1, \text{ если } a_j < a_{j-1} < a_{j-2} \\ 0, \text{ если } (a_j \geq a_{j-1} \leq a_{j-2}) \text{ или } (a_j \leq a_{j-1} \geq a_{j-2}) \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$ <p>где ТП^{\min}, ТП^{\max} – оценка тенденции показателя.</p>

Продолжение таблицы 1

№	Этап	Формула
4.	Расчет интегрального индекса наличия проблемы	$ИИНП = 0,3 + 0,4 * НП + 0,1 * НПР + 0,2 * ТП \quad (4)$ <p>где ИИНП – интегральный индекс наличия проблемы; НП – соответствие показателя норме; НПР – разница между нормативом и показателем; ТП – оценка тенденции показателя.</p>

Коэффициенты в формуле расчета ИИНП (4) были получены с помощью регрессионного анализа: весь диапазон значений индекса наличия проблемы был разбит на интервалы, в зависимости от его желаемой интерпретации. С помощью линейной регрессии по значению составляющих индекса в ключевых точках и значению границ индекса было получено искомое уравнение (формула 4).

Предполагаемые управленческие воздействия зависят от зоны риска, в которую попал показатель. Для показателей зоны отсутствия риска (ИИНП лежит в диапазоне от 0,7 до 1) рекомендуется продолжать реализацию существующих мероприятий, изменений не требуется. Для показателей зоны возможного риска (ИИНП от 0,51 до 0,70) рекомендуется постепенная корректировка существующих мероприятий с целью изменить тенденцию показателя (проведение выборочных исследований, разработка и проведение профилактических мероприятий, анализ мероприятий на других территориях). Для показателей, попавших в зону высокого, но контролируемого риска (ИИНП от 0,31 до 0,50) рекомендуется реализация мер усиленного контроля за изменением показателя (назначение ответственных лиц, уменьшение интервала отчетности, разбивка по отдельным территориальным единицам). Для зоны высокого риска (ИИНП ниже 0,30) необходима экстренная разработка и реализация новых управленческих мероприятий, которые должны включать в себя не только изменения в сфере общественного здоровья, но и в целом оптимизацию социальной защиты населения.

Разработанный алгоритм лег в основу компьютерной программы «Система мониторинга показателей общественного здоровья». Экранная форма представления результатов расчета ИИНП приведена на рисунке.

Сортировать показатели:		Фильтровать показатели:				
По убыванию ИИНП		Нет фильтра				
≡ Сортировать		✓ Применить × Удалить фильтр				
	Показатель	2012	2013	2014	Индекс	Зона риска
✓	Численность контингента пациентов с наркоманией	163,5	144,9	125,0	0,96	Отсутствие риска
	Норматив:	364,6	342,9	340,3		
>	Первичная инвалидность среди детей (до 18 лет)	18,2	16,5	15,7	0,92	Отсутствие риска
>	Первичная заболеваемость	509,1	549,3	537,9	0,74	Отсутствие риска
>	Численность контингента пациентов с сифилисом	194,6	234,9	210,3	0,73	Отсутствие риска
>	Рождаемость	14,8	13,8	14,0	0,71	Отсутствие риска
>	Смертность	13,2	12,8	13,7	0,71	Отсутствие риска
>	Естественный прирост	1,6	1,0	0,3	0,60	Потенциальный риск
>	Впервые выявленные заболевания у детей	962,4	1191,4	1295,5	0,53	Потенциальный риск
>	Численность контингента пациентов с алкоголизмом	885,4	865,3	841,2	0,49	Контролируемый риск
>	Численность пациентов с псих. расстройствами	1220,1	1341,0	1150,7	0,30	Высокий риск
>	Численность населения(общий прирост)	0,7	0,7	-0,6	0,20	Высокий риск
>	Впервые выявленные злокачественные заболевания	237,2	379,5	379,8	0,09	Высокий риск
>	Численность контингента пациентов с онкологией	1566,5	1853,9	2112,8	0,09	Высокий риск

Рисунок 1 – экранная форма представления результатов расчета ИИНП

На следующем этапе развития программы предполагается создание базы знаний возможных управленческих воздействия для каждого показателя с учетом его рассчитанной зоны риска. Данная база знаний должна включать в себя экспертные рекомендации, нормативные документы, постановления и законы Российской Федерации, а также результаты клинических и популяционных исследований [1].

Например, для решения проблемы касательно показателя численности пациентов с психическими расстройствами, который находится в зоне высокого риска (превышение нормативов и негативная динамика), было проведено социологическое исследование среди жителей Новокузнецкого района, целью которого являлось выявление групп психологического риска. Анализ данных исследования показал, что на переносимость психических нагрузок влияют:

- *возраст*: после 50 лет вероятность плохой переносимости психических нагрузок увеличивается почти в 3 раза, по сравнению с возрастом до 50 лет (среди респондентов моложе 50 лет ответили, что переносят психические нагрузки плохо или очень плохо 6% респондентов, среди респондентов старше 50 лет - 17%, $\chi^2=12,5$, $p<0,001$).

- *семейное положение*: вероятность плохой переносимости психических нагрузок, среди респондентов, не состоящих в браке выше в 2 раза, по сравнению с респондентами, состоящими в браке (20% и 9,6% соответственно, $\chi^2=12,5$, $p<0,001$).

- *плохая переносимость физических нагрузок*: вероятность плохой переносимости психических нагрузок, среди респондентов, плохо переносящих физические нагрузки в 10 раз выше, по сравнению с респондентами переносящими психические нагрузки удовлетворительно и хорошо (54% и 5% соответственно, $\chi^2=149,9$, $p<0,001$).

- *частота употребления в пищу овощей*: при употреблении в пищу овощей раз в неделю и реже вероятность плохой переносимости психических нагрузок выше в 2,5 раза, чем при условии употребления овощей ежедневно (25% и 10% соответственно, $\chi^2=14,2$, $p<0,001$).

На основе выявленных взаимосвязей с помощью логистической регрессии была разработана прогнозная шкала – таблица 2.

Таблица 2 – Скрининговая шкала прогноза психологического риска

Факторы		Баллы
Возраст	моложе 50 лет	0
	старше 50 лет	4
Семейное положение	в браке	0
	разведен (а)	3
	холост (не замужем)	10
	вдов(а)	6
Частота употребления в пищу овощей	каждый день	0
	раз в неделю и реже	5
Переносит физические нагрузки	очень плохо	33
	плохо	30
	удовлетворительно	8
	хорошо	0
	отлично	0

Человек выбирает характерные для него факторы, и суммирует соответствующие им баллы. Если сумма баллов выше 15, то существует высокая вероятность того, что человек плохо переносит психические нагрузки, что в дальнейшем может привести к психическим расстройствам. Критический порог (15 баллов) определялся с помощью статистики Юдена ($J=0,69$), которая выявляет точку отсечения с максимально высокой чувствительностью и специфичность (в данном случае 85 % и 84 % соответственно).

В качестве индивидуальных рекомендаций для группы риска по психологическим

нагрузкам можно предложить следующие: посещать группы психологической поддержки, повысить уровень переносимости физических нагрузок, употреблять больше овощей, витаминов. Необходимы и общественные рекомендации: развивать в районе физкультурное движение и создавать клубы по интересам для различных возрастных групп с целью улучшения физического здоровья населения и повышения числа создаваемых семей.

Выводы: разработанная система мониторинга показателей общественного здоровья на основе индекса наличия проблемы может применяться не только в Новокузнецком районе, но и на любой другой территории. Применение данной системы позволит не только выявить проблемные показатели, но и классифицировать вид проблемы, что помогает в выборе управленческих воздействий. Перспективой развития системы является создание базы знаний, содержащей конкретные управленческие мероприятия для каждого показателя и зоны риска.

Библиографический список

1. Скрининг и профилактика актуальных заболеваний : руководство для врачей / А. А. Стрельников, А. Г. Обрезан, Е. В. Шайдаков. — СПб. : СпецЛит, 2012. - 535 с.
2. Указ Президента РФ «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения» от 7 мая 2012 года N 598.

МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА СЛУЖБЫ АСУ ТП, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ

Гудков М.Ю., Кулаков С.М.

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

Решение задач разработки, внедрения и последующего использования механизма материального стимулирования персонала службы, эксплуатирующей автоматизированные системы управления технологическими процессами, в условиях филиала АО «ЕВРАЗ ЗСМК» – «Западно-Сибирская ТЭЦ» являются главным условием, обеспечивающим: высокое качество работы каждого сотрудника, своевременное устранение инцидентов и снижение вероятности их повторения, качество профилактических мероприятий, безопасность работы технологического оборудования теплоэлектроцентрали (далее ТЭЦ) и, как следствие, определяющим вектор развития предприятия в целом.

Внедрение и использование механизма материального стимулирования персонала службы АСУ ТП за бесперебойную, безостановочную работу программно-технического комплекса может базироваться на данных, формируемых системой управления инцидентами, которая включает в себя следующие информационные подсистемы (сервисы), которые далее будут коротко представлены:

- система сбора данных в процессе контрольных обходов технологического оборудования (далее СДКО);
- электронный журнал дефектов (далее ЭЖД);
- система мониторинга параметров технологического оборудования ТЭЦ [1].

Система управления инцидентами АСУ ТП ТЭЦ (рисунок 1) обеспечивает оперативное восстановление работоспособности комплекса технических средств автоматизации, а также диспетчерского управления и сбора данных (SCADA), которые в свою очередь обеспечивают бесперебойную и безаварийную работу технологического оборудования (котельных агрегатов, турбогенераторов, редукционно-охладительных установок и т.д.) [2]. При таком подходе процесс обработки инцидента представляет собой упорядоченную последовательность действий (шагов), которые должны быть выполнены для данного типа инцидента. Далее инциденты устраняются предопределенным (стандартным) образом и в предопределенное время [3].

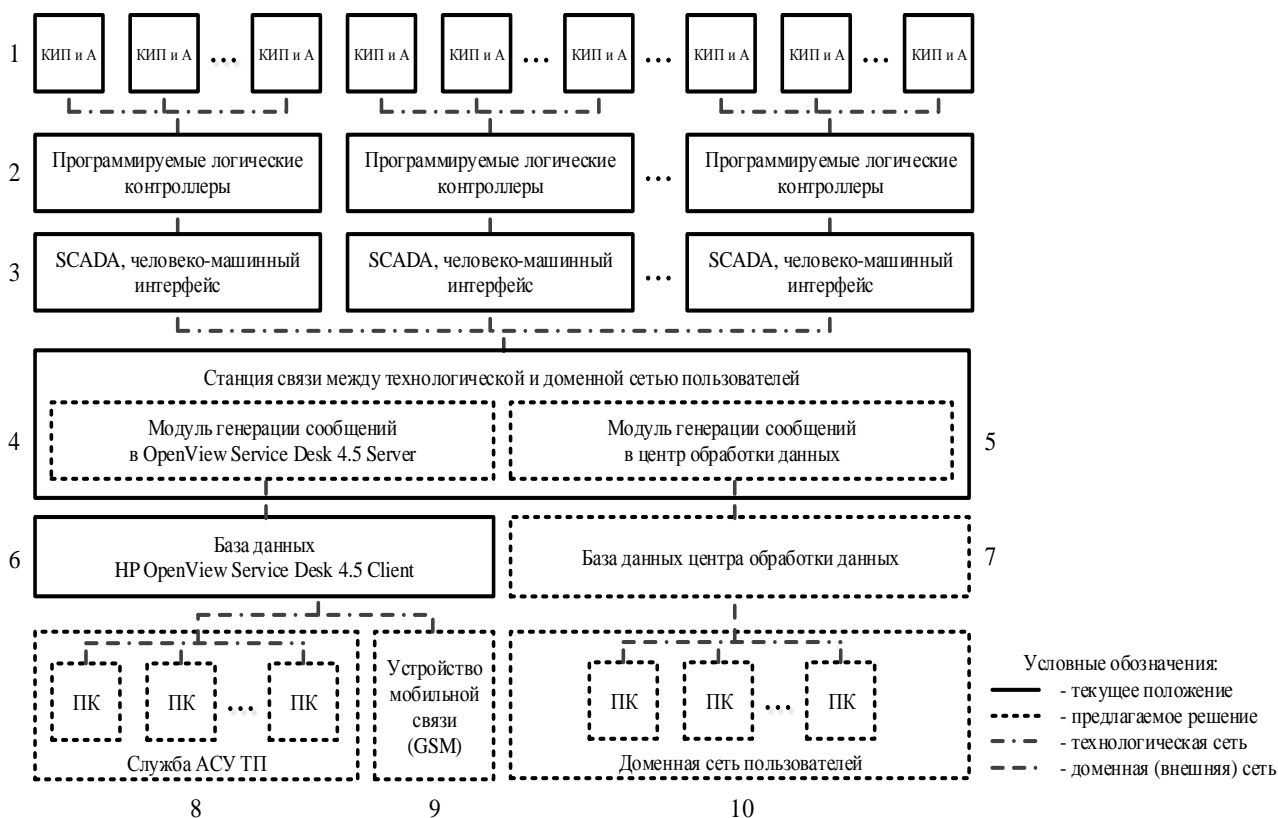


Рисунок 1 – Схема интеграции системы управления инцидентами с подсистемами АСУ ТП

Процесс устранения инцидента, в частности, содержит:

- действия, которые нужно выполнить при обработке обнаруженного инцидента;
- правила, определяющие порядок выполнения действий и порядок взаимодействия (специальные интерфейсы) со смежными ИТ-процессами;
- границы ответственности за выполнение действий (кто и за что отвечает);
- временные ограничения (нормативы) на выполнение отдельных действий и пороговые значения параметров для их завершения;
- процедуры «эскалации» (кто с кем и при каких условиях взаимодействует);
- защитные меры, в особенности, относящиеся к инцидентам, связанным с безопасностью.

Система управления инцидентами получает значения параметров (тренды) от источников данных (SCADA WinCC, PLC, OPC-серверов), анализирует тренды на наличие инцидента, регистрирует обнаруженный инцидент и классифицирует его по признакам с последующим определением приоритета. Далее, система отправляет сформированное сообщение конкретному адресату-исполнителю и формирует ежедневный перечень задач, процент выполнения которых используется при расчете KPI сотрудников.

Использование системы СДКО, предназначенной для фиксации данных контрольных обходов технологического оборудования ТЭЦ, обеспечивает:

- автоматизацию сбора данных, формируемых во время обходов/осмотров и обслуживания основного оборудования;
- мониторинг дефектов и замечаний, выявляемых методами визуального контроля, с помощью переносных приборов (газоанализаторов, тепловизоров и т.п.) в ходе текущей деятельности или по результатам плановых и внеплановых проверок (комиссиями, техническими инспекциями и т.п.);
- фиксацию дефектов и замечаний после выполнения обслуживания, с привязкой к записи и местоположению;
- интеграцию с базой данных ЭЖД;
- снятие показаний локальных приборов и счетчиков;

- контроль выполнения персоналом своих обязанностей; снижение влияния человеческого фактора при обслуживании оборудования;
- формирование базы данных по оборудованию, для инвентаризации основных средств.

Внедрение СДКО позволило руководству ТЭЦ проводить оценку важности того или иного технологического актива, определило правильный подход к управлению [4].

На основе данных по классификации активов в зависимости от степени влияния и вероятности их отказов (рисунок 2) стало возможным формировать перечень приоритетных направлений работы, классифицировать задачи по степени важности и распределять их персоналу службы АСУТП, формировать ежедневный список задач индивидуально каждому исполнителю, процент выполнения которых также используется при расчете КРІ сотрудника.

Если контроль в реальном времени критически важного оборудования, такого как большие компрессоры или турбины, является обычной практикой, то онлайн-контроль оборудования второго уровня, такого как насосы, теплообменники, вентиляторные установки, небольшие компрессоры и теплообменники с воздушным охлаждением (с вентиляторами и оребрением), традиционно считается чрезмерно дорогим, чтобы его реализовывать, или слишком сложным.

Однако, даже неохваченные контролем или контролируемые вручную активы могут быть изначально не классифицированы как «критические», их выход из строя или неисправность может привести к серьезному нарушению технологического процесса или его остановке. В результате – простой и возросшая нагрузка на персонал производственного участка, который будет вынужден заняться внеплановым неотложным ремонтом. Такие активы можно назвать «ключевыми технологическими активами». Решения по контролю в режиме реального времени повышают их общую надежность, одновременно сокращая издержки на техническое обслуживание.



Рисунок 2 – Классификация активов в зависимости от вероятности и степени влияния их отказов

По результатам использования ЭЖД на Западно-Сибирской ТЭЦ были сделаны следующие выводы:

- система обеспечивает прозрачность процесса регистрации и устранения дефектов, повышение оперативности взаимодействия персонала;

– с использованием ЭЖД оператору стало возможно не вводить вручную наименования оборудования, фамилии персонала и прочие реквизиты, а выбирать их из заранее заполненных справочников. Тем самым обеспечивается однозначная привязка дефекта к оборудованию, а также лицам, обнаружившим и устранившим дефект;

– с помощью ЭЖД легко проследить «историю болезни» единицы оборудования, обнаружить ранее встречавшиеся дефекты, найти единицы оборудования с наибольшим количеством дефектов;

– появилась возможность автоматизировано формировать отчеты руководителя с распределением дефектов по видам, по причинам (рисунок 3), по последствиям; затраты на устранение дефектов и отказов; распределение оборудования по числу дефектов на нем [5].

Использование данных базы ЭЖД послужило хорошим подспорьем для формирования механизма материального стимулирования персонала, так как это дало возможность оперативного расчёта различных показателей КРІ. К числу таких показателей можно отнести, например, следующие:

– количество дефектов с просроченными сроками устранения (по участкам (бригадам), по видам оборудования);

– количество повторных дефектов.

Процент выполнения данных показателей также учитывается при расчете КРІ сотрудника.

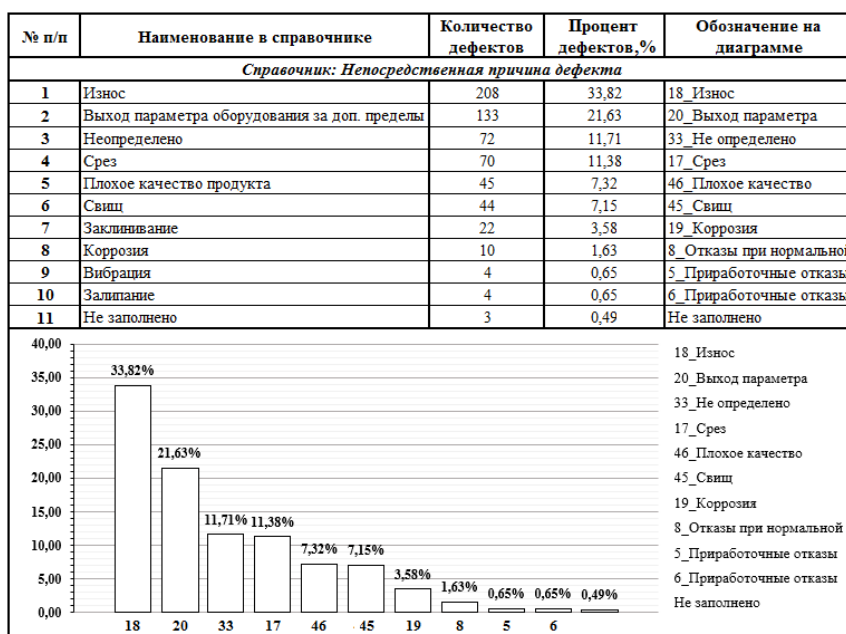


Рисунок 3 – Пример отчета «Распределение дефектов по причинам»

Механизмы индивидуального стимулирования, помимо реализации функции стимулирования и мотивации, могут использоваться совместно с механизмами контроля и оперативно-управления, а также механизмами информационного управления [6], эти механизмы используются в представленных подсистемах: ЭЖД, СДКО, управления инцидентами АСУ ТП.

В условиях «Западно-Сибирской ТЭЦ – филиала АО «ЕВРАЗ ЗСМК», в тех случаях, когда можно пренебречь взаимосвязями, в частности, технологическими, между отдельными сотрудниками, применим механизм стимулирования за индивидуальные результаты труда (рисунок 4).

Руководитель службы АСУ ТП (далее Центр) достаточно точно знает, за какую денежную компенсацию сотрудник службы АСУ ТП (далее агент) готов выполнять то или иное действие (знает функцию затрат агента), при этом действие агента наблюдается Центром. Эффект от внедрения данного механизма будет заключаться в эффективном использовании ресурсов, выделяемых на мотивацию и стимулирование персонала АСУ ТП, выполнение сотрудниками планов, назначенных руководством, повышение производительности труда.



Рисунок 4 – Вход-выходная схема механизма стимулирования

Цель Центра – максимизация прибыли, которая пропорциональна разности между доходом от деятельности агента и выплачиваемым агенту вознаграждением.

Цель агента – максимизация своей прибыли – разности между полученным от Центра вознаграждением и затратами, понесенными в связи с реализацией выбранных действий.

Порядок функционирования:

1. Центр сообщает агенту механизм стимулирования – зависимость размера вознаграждения агента от его действия.
2. Агент выбирает свое действие.
3. Центр получает информацию о действии агента.
4. Центр выплачивает агенту вознаграждение в соответствии с механизмом стимулирования.

Агенту, на момент выбора действия, известна функция стимулирования (зависимость суммы вознаграждения от действия агента), а также его собственная функция затрат (издержки агента при выборе им того или иного действия, выраженные в деньгах) и ограничения на множество допустимых действий.

Центру на момент определения механизма стимулирования известна функция затрат агента и ограничения на фонд заработной платы. На момент выплат Центру известно действие агента.

Окладная часть заработной платы сотрудника является стабильной величиной, ее размер не может быть уменьшен за невыполнение сформированного плана на месяц. Премияльная часть складывается из шести частных показателей, составляющих общий показатель KPI_j j -го агента.

Расчет фактически достигнутых частных показателей ($k_j^n = 1 \dots 6$) проводится по еди-

ной формуле: $k_j^n = [k_j^n]_{\max} \cdot \frac{[\chi_j^n]_{\text{факт}}}{[\chi_j^n]_{\text{цель}}}$, где $[k_j^n]_{\max}$ - максимальное значение частного показателя - ЧП; $[\chi_j^n]_{\text{факт}}$ - результирующий показатель (объем, количество выполненных задач); $[\chi_j^n]_{\text{цель}}$ - целевой объемный, количественный показатель (определяется Центром).

Максимумы частных показателей KPI_j можно, например, определить следующим образом: k_j^1 - ЧП «Задачи ЭЖД», $[k_j^1]_{\max} = 0,2$;

k_j^2 - ЧП «Задачи подсистемы управления инцидентами», $[k_j^2]_{\max} = 0,2$;

k_j^3 - ЧП «Задачи СДКО», $[k_j^3]_{\max} = 0,2$;

k_j^4 - ЧП «Поручения руководства» $[k_j^4]_{\max} = 0,15$;

k_j^5 - ЧП «Поверенные приборы» $[k_j^5]_{\max} = 0,13$;

$$k_j^6 - \text{ЧП «Доступность информационных сервисов» } [k_j^6]_{\max} = 0,12.$$

Показатель KPI_j равен сумме значений частных показателей k_j^i и рассчитывается по формуле: $KPI_j = \sum_{i=1}^n k_j^i$.

Заработная плата D_j будет рассчитана по следующей формуле:

$$D_j = M_j^{p.ohn.} + B_j^{\max} \cdot KPI_j + U_j,$$

где $M_j^{p.ohn.}$ - окладная часть зарплаты, руб.;

B_j^{\max} - максимальный размер денежной премии, руб.;

KPI_j - ключевой показатель эффективности,

U_j - размер оплаты переработки, руб.

Размер оплаты переработки j -го агента U_j рассчитывается следующим образом:

$U_j = \Theta_j \cdot (1,5 \cdot h_j^I + 2 \cdot h_j^{II})$, где Θ_j - размер часовой ставки j -го агента, $\frac{\text{руб}}{\text{ч}}$, h_j^I - количество первых двух часов переработки, h_j^{II} - количество последующих часов после двух часов переработки.

Благодаря использованию механизмов стимулирования за индивидуальные результаты станет возможным эффективное использование ресурсов, выделяемых на мотивацию и стимулирование каждого сотрудника в отдельности, выполнение сотрудниками индивидуальных планов, назначенных руководством, повышение производительности труда.

Библиографический список:

1. Гудков, М.Ю. Разработка системы мониторинга технологических параметров котельных агрегатов, турбогенераторов, РОУ ПДУ с использованием технологии WPF / М.Ю. Гудков, А.А. Ворошилов // Тезисы 53-ой научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Новокузнецк. – 2014. – С. 82-86.
2. Гудков, М.Ю. К разработке системы управления инцидентами в АСУТП теплоэлектростанции / М.Ю. Гудков, С.М. Кулаков // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X всероссийской научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т. Под общей редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ. – 2015. – С. 298-302.
3. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ИТЛ): учеб. пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
4. Гудков, М.Ю. Об использовании контрольных обходов технологического оборудования в автоматизированном управлении активами теплоэлектростанции / М.Ю. Гудков, А.В. Хапов, Е.В. Буркова, С.М. Кулаков // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2 ч. Ч2 / СибГИУ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ. – 2016. – С. 242-248.
5. Гудков М.Ю., Буркова Е.В., Кулаков С.М. Об использовании данных электронного журнала дефектов в составе комплекса информационной системы технического обслуживания и ремонта оборудования теплоэлектростанции // Современная наука: проблемы и пути их решения: сборник материалов Международной научно-практической конференции (10-11 декабря 2015 года), Том I – Кемерово: КузГТУ, 2015 – 317 с.
6. Новиков Д.А. Механизмы управления: учебное пособие. – М: ЛЕНАНД, – 2011. – 192 с.

СЕКЦИЯ 2

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ

Ляховец М.В.¹, Венгер К.Г.², Мышляев Л.П.¹, Шипунов М.В.³,
Грачев В.В.¹, Мелкозеров М.Ю.⁴

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

²ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово;

³ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

⁴ООО СП «Барзасское товарищество», г. Березовский, Россия

Добыча угля неразрывно связана с его переработкой – обогащением, поэтому совместно с шахтами и угольными разрезами издавна функционируют обогатительные фабрики. Кроме того, современные рыночные реалии таковы, что при наличии постоянного спроса необходимо наращивать производственные мощности предприятия. Таким образом, современное горноперерабатывающее предприятие – это «живой» организм, постоянно изменяющий технологическую структуру и, соответственно, системы автоматизации технологическими процессами. Так, на обогатительной фабрике ООО СП «Барзасское товарищество» (г. Березовский) принято решение о проведении технического перевооружения с наращиванием производственной мощности и качественных показателей обогащения углей, добываемых на разрезе «Барзасский». В настоящее время модернизация технологического комплекса неразрывно связано и с модернизацией систем автоматизации соответствующих технологических процессов.

В рамках технического перевооружения предполагается создание двух отделений: флото-фильтровального и сушильно-топочного – и модернизация существующего технологического комплекса склада концентрата. Действующая обогатительная фабрика представляет собой сложный объект с множеством технологического оборудования, поточно-транспортных линий с их территориальным распределением. Причем технологические процессы автоматизированы, и задача модернизации заключается, в том числе, и в целевом изменении действующей автоматизированной системы, позволяющей при минимальных материальных и временных затратах реализовать и внедрить автоматизацию вновь вводимого оборудования и технологических процессов без нарушения работоспособности всей системы в целом.

Реализуемая в рамках модернизации автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) предназначена для комплексной автоматизации контроля и управления производственными и технологическими процессами, оборудованием перевооружаемой обогатительной фабрики, включая решение следующих дополнительных задач¹: централизованный контроль, анализ и отображение информации о состоянии производственных и технологических процессов и оборудования технологического комплекса флото-фильтровального и сушильно-топочного отделений, склада концентрата; автоматизированное управление технологическими процессами и оборудованием технологического комплекса флото-фильтровального и сушильно-топочного отделений, склада концентрата.

Целью модернизации является повышение эффективности управления технологическим комплексом флото-фильтровального отделения; сушильно-топочного отделения; склада концентрата и, вследствие этого, улучшение технико-экономических показателей его функционирования: снижение удельных затрат на производство и увеличения выхода годного продукта; а также повышение качества товарной продукции.

Достижение поставленной цели обеспечивается по следующим направлениям:

1. Автоматизация информационных и управляющих функций при решении задач: оперативного формирования и анализа информации об изменениях режимов функционирования

¹ С учетом того, что действующая система полностью выполняет возложенный на неё функционал и не требует модернизации какого-либо обеспечения.

и состоянии технологических процессов, агрегатов и оборудования; 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.

2. Повышение надежности системы автоматизации управления технологическим комплексом, оперативности и качества контроля и управления за счет: применения современных технических средств, методов и алгоритмов автоматического контроля, анализа, диагностики состояния и управления технологическими процессами и оборудованием; комплексного и детального отображения информации о состоянии оборудования и агрегатов, изменениях технологических параметров, действий оперативного персонала в системе; использования в качестве технической базы на нижнем уровне системы современных микропроцессорных контроллеров, обладающих высокой надежностью, большими сроками наработки на отказ, простотой замены вышедших из строя элементов, расширения технической структуры, модификации математического и программного обеспечения; минимизации количества мало-надежных электромеханических устройств в локальных системах логического контроля и управления отдельными механизмами и агрегатами.

Автоматизированная система управления технологическими процессами флото-фильтровального, сушильно-топочного отделений и склада концентрата (АСУ ТП ФФО) разрабатывается как составная часть интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики (АСУ ТП ОФ) ООО СП «Барзасское товарищество» на базе существующих программно-аппаратных средств действующей АСУ ТП ОФ технологического комплекса обогащения I и II очереди и комплекса погрузки. АСУ ТП ФФО разрабатывается с учетом максимально возможного использования ресурсов уже существующих технических средств АСУ ТП ОФ, унификации программно-аппаратных средств проектируемой АСУ ТП ФФО и действующей АСУ ТП ОФ технологического комплекса обогащения I и II очереди.

Укрупненная функциональная структура интегрированной АСУ ТП ОФ изображена на рисунке 1. В ее состав входят следующие основные системы:

1) существующая АСУ ТП ОФ I и II очереди, включающая:

- автоматическую систему централизованного сбора, обработки и хранения информации обогатительной фабрики (ОФ);
- систему инженерного сопровождения;
- систему автоматизации управления производством (САУП);
- автоматизированную систему оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ) технологическим комплексом обогатительной фабрики;
- локальную систему централизованного контроля и управления погрузкой;
- системы автоматического контроля и управления технологическими комплексами (САУ ТК) углеприема, обогащения и погрузки I и II очереди фабрики;

2) проектируемая АСУ ТП ФФО, включающая:

- автоматическую систему централизованного сбора, обработки и хранения информации флото-фильтровального и сушильно-топочного отделений;
- автоматизированную систему оперативно-диспетчерского управления технологическим комплексом флото-фильтровального и сушильно-топочного отделений (АСОДУ ФФО и СТО);
- систему автоматического контроля и управления погрузкой в части вновь устанавливаемого оборудования склада концентрата;
- систему автоматического контроля и управления технологическим комплексом флото-фильтровального отделения (САУ ТК ФФО);
- систему автоматического контроля и управления технологическим комплексом сушильно-топочного отделения, поставляемую комплектно с технологическим оборудованием, включая локальную систему централизованного контроля и управления сушильными агрегатами (САУ ТК СТО).

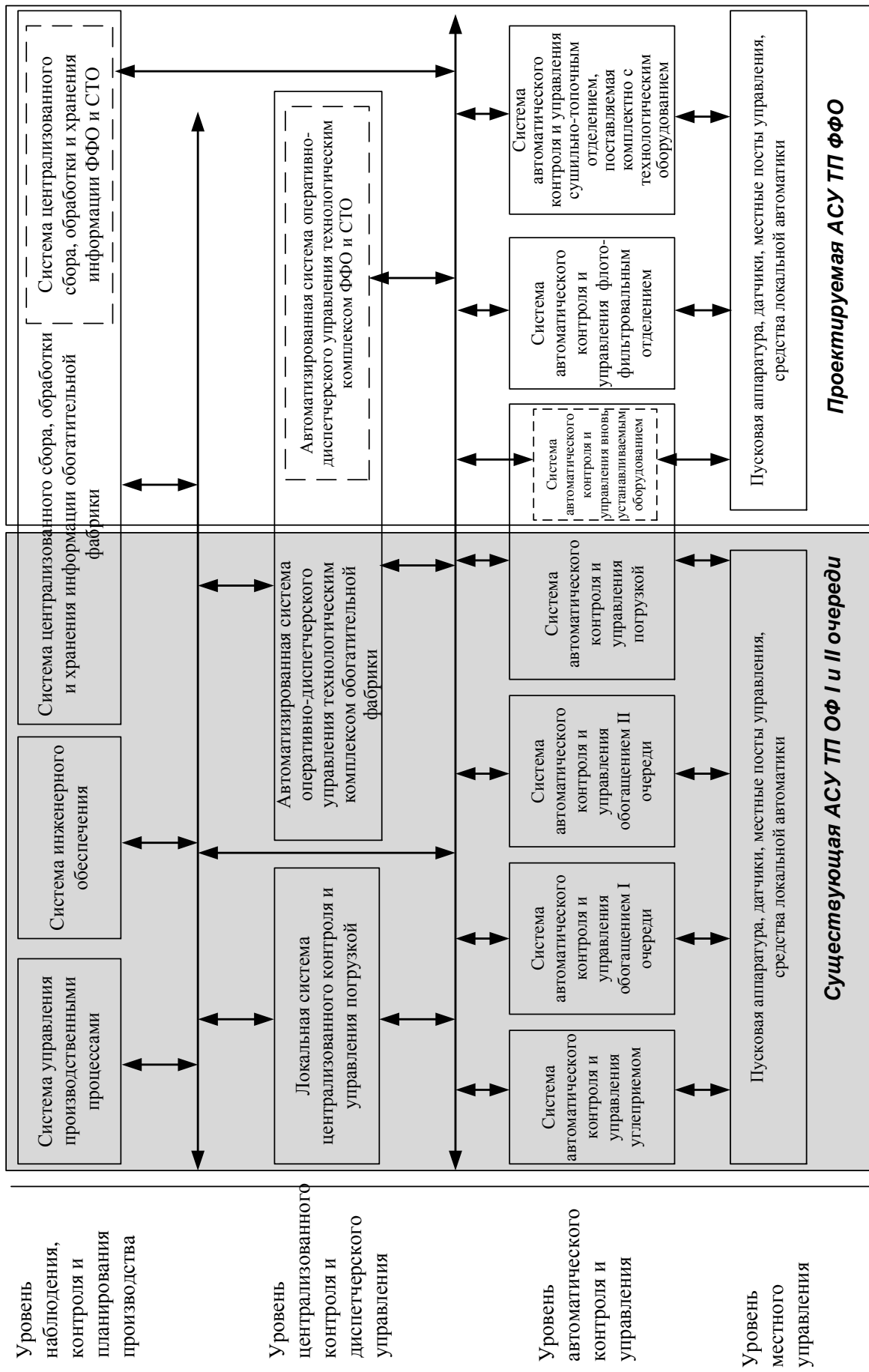


Рисунок 1 – Схема функциональной структуры интегрированной АСУ ТП ОФ ООО СП «Барзасское товарищество»

Интеграция существующей АСУ ТП ОФ I и II очереди и вновь создаваемой АСУ ТП ФФО и создание целостного автоматизированного технологического комплекса обогатительной фабрики обеспечивается путем:

- создания единого информационного пространства в системе централизованного сбора, обработки и хранения информации и в автоматизированной системе оперативно-диспетчерского управления технологическим комплексом фабрики, общей дисциплины визуализации данных и диспетчерского управления;

- включения в состав математического обеспечения АСУ ТП алгоритмов управления согласованием технологических режимов и взаимной блокировкой оборудования в точках сопряжения существующего технологического комплекса I и II очереди фабрики и вновь создаваемого технологического комплекса флото-фильтровального, сушильно-топочного отделений и склада концентрата;

- частичного использования программно-аппаратных средств АСУ ТП ОФ I и II очереди для реализации функциональных систем АСУ ТП ФФО.

Автоматическая система централизованного сбора, обработки и хранения информации по технологическому комплексу флото-фильтровального отделения и АСОДУ ФФО реализуются на базе программно-аппаратных средств существующей АСУ ТП ОФ I и II очереди путем расширения ее информационного и программного обеспечения.

Проектируемая АСУ ТП ФФО представляет собой двухуровневую систему.

Верхний уровень – система автоматизации оперативно-диспетчерского контроля и управления технологическими комплексами флото-фильтровального и сушильно-топочного отделений.

Нижний уровень – системы автоматического управления технологическими комплексами флото-фильтровального отделения, сушильно-топочного отделения, погрузки (склада концентрата).

Применение такого рода двухуровневых систем автоматизирования апробировано на других объектах угольной промышленности и хорошо себя зарекомендовали.

Схема укрупненной технической структуры системы автоматизации управления технологическими процессами технологического комплекса погрузки угля разреза «Барзасский» ООО СП «Барзасское товарищество» на станции «Барзасская» представлена на рисунке 2. Аппаратная реализация системы выполнена на базе микропроцессорных программируемых контроллеров, серверов, персональных компьютеров и сенсорных панелей.

Аппаратная реализация систем *верхнего уровня*, включая *существующие системы интегрированной АСУ ТП ОФ* (система управления производственными процессами; система инженерного сопровождения; система централизованного контроля и управления погрузкой I и II очереди; система централизованного сбора, обработки и хранения информации; система автоматизации оперативно-диспетчерского контроля и управления технологическим комплексом фабрики), а также *проектируемая система АСУ ТП ФФО* (автоматизированная система управления технологическими процессами флото-фильтровального, сушильно-топочного отделений и склада концентрата) выполнены на базе серверов и персональных компьютеров корпорации Hewlett-Packard, DELL, НМИ-терминалов фирмы Schneider Electric.

В качестве базового программного обеспечения верхнего уровня вновь вводимой АСУ ТП ФФО используется действующий программный пакет Genesis32 фирмы ICONICS v.9.21. Функциональные возможности данного пакета прикладных программ достаточны для выполнения всех автоматизированных функций, приобретение дополнительных программных модулей не требуется.

Подсистема *нижнего уровня* предназначена для решения задач взаимосвязанного управления технологическими агрегатами. В пусковом комплексе – это автоматическое управление агрегатами с соблюдением технологического регламента планового пуска/останова и аварийных блокировок агрегатов.

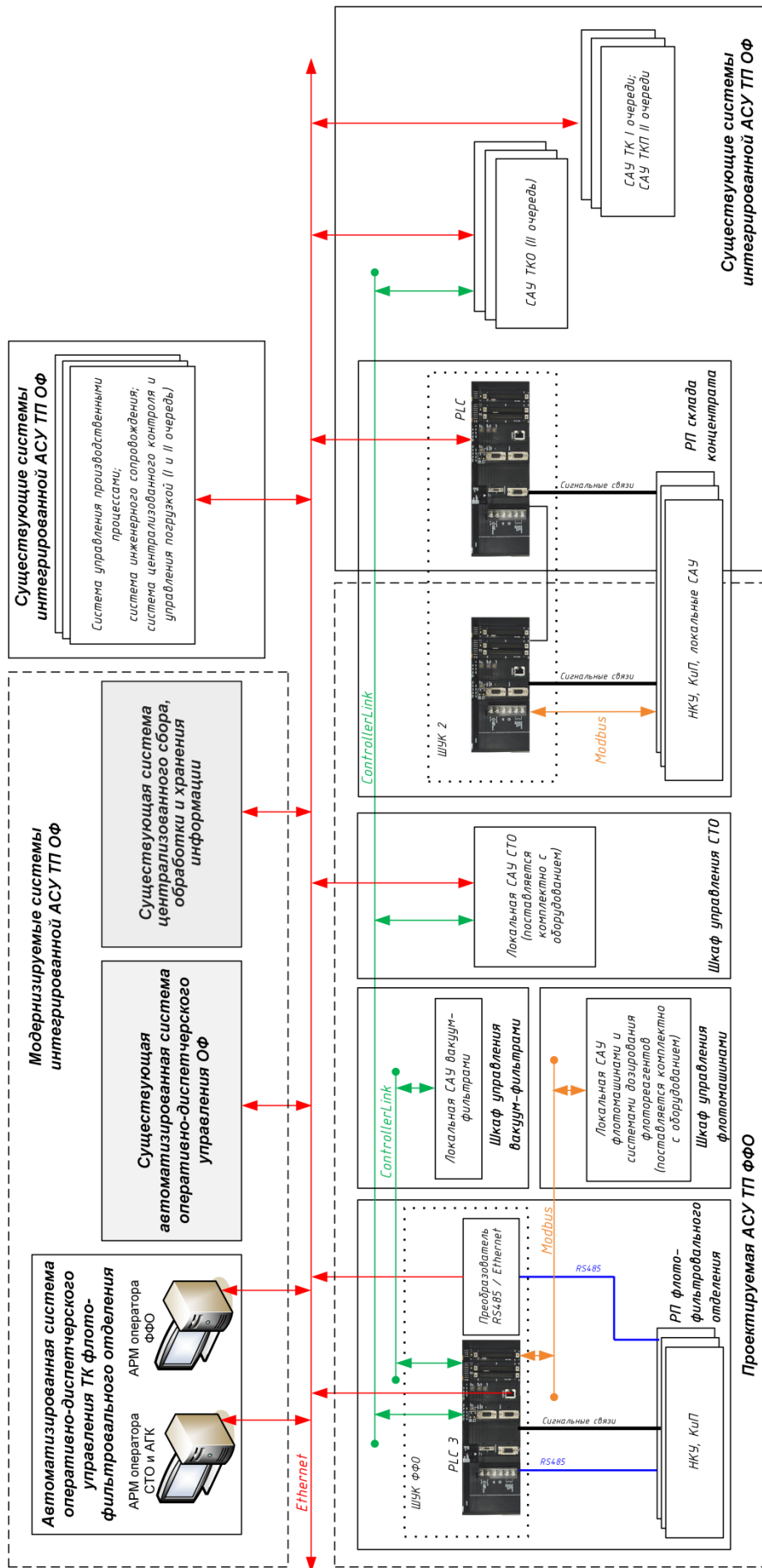


Рисунок 2 –Схема укрупнённой технической структуры АСУ ТП

Подсистема реализуется на микропроцессорных программируемых логических контроллерах серии CJ2 корпорации Omron и обеспечивает: прием и обработку дискретных сигналов о состоянии оборудования и агрегатов, формирование дискретных сигналов управления агрегатами, реализуя функции местного, дистанционного и автоматического управления оборудованием агрегата; прием и обработку сигналов измерительной информации от локальных систем измерения и контроля технологических параметров; предусматривается возможность приема стандартных аналоговых и дискретных сигналов; обмен данными между контроллерами по специализированной контроллерной сети Controller Link; обмен данными по информационной сети Ethernet с рабочими станциями верхнего уровня системы; автоматическое или по командам диспетчера формирование команд пуска/останова агрегатов в соответствии с текущим состоянием процесса и агрегатов, требованиями регламента.

Подбор модулей ввода вывода, построение системы сбора, обработки и передачи информации и управляющих воздействий выполнены исходя из схемы укрупненной технической структуры системы (рисунок 2), состава оборудования и агрегатов технологического комплекса фабрики.

Сопряжение контроллеров АСУ ТП со средствами измерения и контроля параметров технологических процессов и состояния оборудования обеспечивается аналоговыми (4-20mA) и дискретными (24VDC) сигналами. Для передачи управляющих воздействий в схемы управления электроприводами используются «сухие контакты». Для обеспечения гальванической развязки дискретных выходов контроллеров используется система быстрого монтажа Omron G70A-ZOC16-3.

Системы нижнего уровня строятся с использованием контроллеров, связанных между собой с помощью сетей Controller Link и Ethernet, с переходом, при необходимости, на оптоволоконный кабель для подключения контроллеров, расположенных в других распределенных пунктах.

Для сопряжения контроллеров АСУ ТП со средствами измерения и контроля параметров технологических процессов и состояния оборудования, а также исполнительными устройствами, поддерживающими обмен информацией по интерфейсу RS485 (протокол Modbus RTU), в составе контроллеров предусмотрены соответствующие интерфейсные модули.

Обмен информацией между контроллерами, с устройствами, подключенными по RS485 к соответствующим коммуникационным модулям контроллера Omron, с диспетчерскими станциями, с серверами и с операторскими НМІ-терминалами осуществляется по информационной сети Ethernet.

Ввод в действие АСУ ТП осуществляется в три этапа.

На первом этапе выполняется ввод в действие модернизированной системы автоматического контроля и управления технологическим комплексом склада концентрата.

На втором этапе выполняется ввод в действие системы автоматического контроля и управления технологическим комплексом флото-фильтровального отделения.

На третьем этапе выполняется ввод в действие системы автоматического контроля и управления технологическим комплексом сушильно-топочного отделения, поставляемую комплектно с технологическим оборудованием, включая локальную систему централизованного контроля и управления сушильными агрегатами.

Задача модернизации существующей системы автоматизации осложняется тем фактом, что обогатительная фабрика не закрывается на реконструкцию и не может останавливаться на длительное время, оставаясь действующим производством. В связи с этим какие-либо изменения в структуре и функциях системы должны проводиться в строго ограниченное время плановых остановок обслуживания и ремонта.

Последовательная реализация указанных проектных решений позволит создать целостный автоматизированный технологический комплекс обогатительной фабрики с тесной интеграцией существующей АСУ ТП ОФ I и II очереди и вновь создаваемой АСУ ТП ФФО.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №15-07-02231.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ СКЛАДОВ

Бурнев С.Д.¹, Рыболовлев В.Ю.¹, Краснобаев А.В.¹, Гурин И.А.², Носков В.Ю.²

¹ ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия

Коксохимическое производство является одним из первых производств, запущенных на ПАО «ММК». В последние годы на ПАО «ММК» делается упор на модернизацию первого передела.

Наряду с задачами повышения качества продукции всё больше уделяется внимания созданию систем автоматизированного учёта не только готовой продукции, но и поступлению сырья и складских операций.

Одним из таких примеров является пилотный проект по автоматизации склада углей углеподготовительного цеха (УПЦ) на коксохимическом производстве.

В рамках создания Системы выполнены работы по:

созданию на базе технологии радиочастотной идентификации (РЧИД) системы позиционирования кранового оборудования и вагоноопрокидывателей в режиме реального времени;

графическому отображению текущих данных о состоянии и параметрах объектов посредством мнемосхем;

оповещению о выходе контролируемых параметров за предупредительные и аварийные пороги путём цветовой/звуковой сигнализации, отображение и архивация соответствующих сообщений;

формированию и отображению отчётов, сводок, графиков, текущих и архивных измеряемых параметров с возможностью печати отчётов и их выгрузки в MS Word и Excel;

обеспечению доступа к данным измеряемых параметров для специалистов и руководящего персонала ПАО «ММК» на веб-интерфейсе.

Система имеет клиент-серверную архитектуру и включает в свой состав следующие функциональные компоненты:

Сервер сбора данных с автоматизированной информационной системы (АИС) УПЦ;

Сервер приложений;

Сервер архивации технологических и производственных данных;

Веб-портал.

На рис. 1 представлена аппаратно-программная структура АИС УПЦ.

Сервер сбора данных обеспечивает реализацию протоколов обмена данными с системами, входящими в состав АИС УПЦ.

Сервер приложений обеспечивает обработку данных, визуализацию информации, а также передачу данных на сервер архива.

Сервер архива технологических и производственных данных обеспечивает централизованную базу технологических (исходных, агрегированных и расчётных) и производственных данных по всем сохраняемым технологическим и производственным параметрам.

Веб-портал обеспечивает специалистам служб и руководству УПЦ доступ посредством веб-интерфейса к оперативным данным, а также доступ к архивным технологическим и производственным данным, представленным в виде трендов и отчётов.

Система имеет гибкую структуру, обеспечивающую модификацию алгоритмов, а также предусматривает перспективу расширения возможностей технологического объекта.

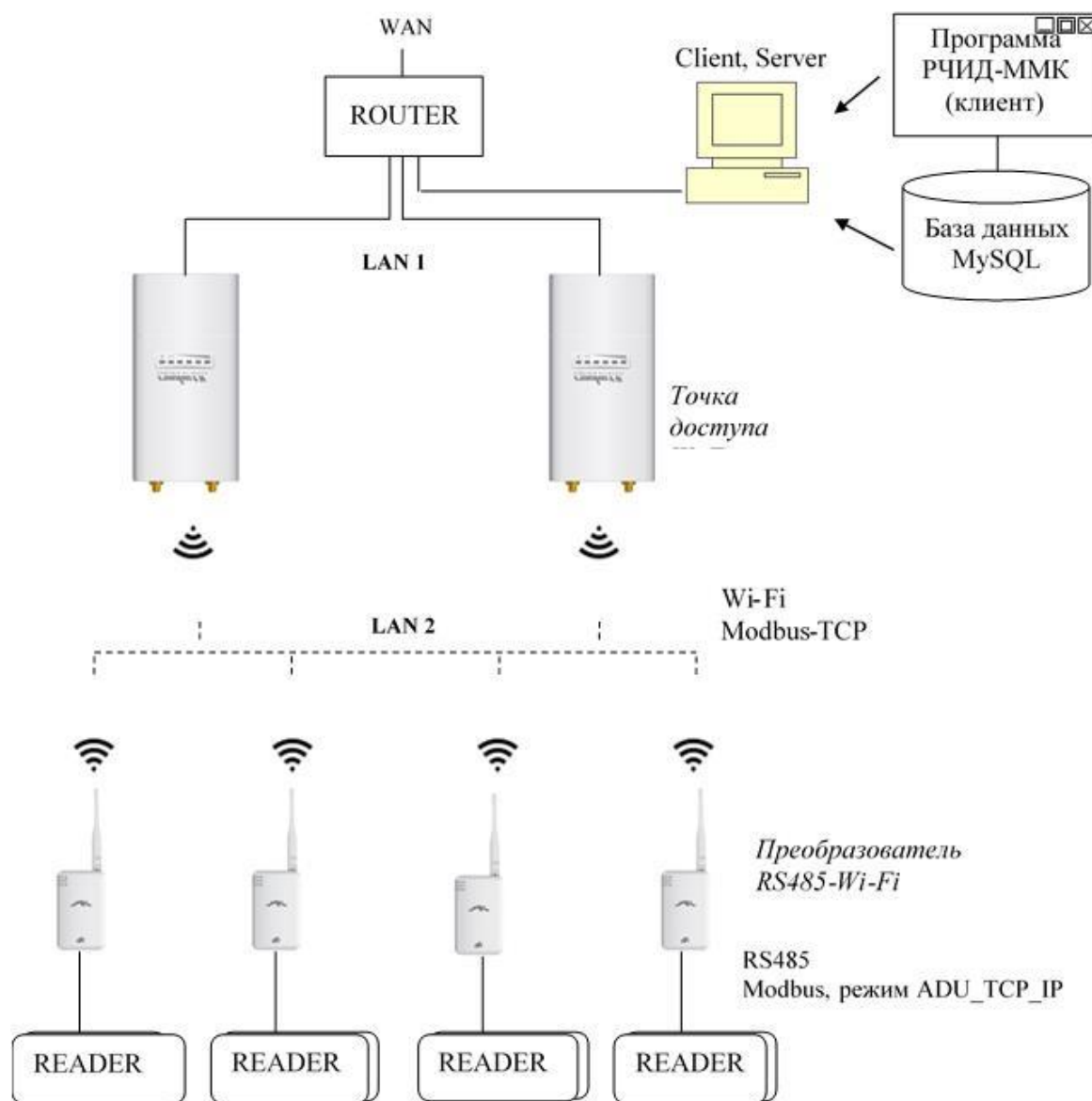


Рисунок 1 – Аппаратно-программная структура АИС УПЦ

При построении системы обеспечена надёжная защита от несанкционированного доступа.

Для организации доступа из корпоративной сети предусмотрена интеграция системы с Microsoft Active Directory ПАО «ММК».

Возможности по обеспечению защиты информации в Системе включают следующее:
используется концепция работы с Системой только зарегистрированных пользователей, исключающая возможность несанкционированного доступа;

отсутствие возможности управления технологическим процессом из корпоративной сети ПАО «ММК»;

каждый пользователь получает доступ в Систему с использованием учётной записи Active Directory (для пользователей, подключённых к корпоративной сети). Для индивидуальных пользователей установлены различные уровни доступа, контролируемые Системой. Каждый пользователь имеет собственный набор разрешённых возможностей для просмотра или изменения данных и информационно-управляющих функций.

Идентификация и определение местоположения вагоноопрокидывателя и крана осуществляются системой радиочастотной идентификации на поверхностных акустических волнах (РЧИД на ПАВ, RFID SAW) [1].

Система идентификации и позиционирования вагоноопрокидывателей и кранов на базе ПАВ-радиометок и ВЧ-считывателей состоит из:

Комплект оборудования для вагоноопрокидывателя и козлового крана (считыватель ПАВ-меток ПИЖМ.464411.005-01, источник питания, преобразователь интерфейса RS485-Wi-Fi (беспроводной коммутатор), защитный бокс);

ПАВ-меток;

Комплект сетевого оборудования.

Считыватель устанавливается на вагоноопрокидыватель, в защищенном от попадания угля месте. Так же на вагоноопрокидыватель устанавливается преобразователь интерфейса RS485-Wi-Fi (беспроводной коммутатор), обеспечивающий сбор и передачу данных от считывателя на сервер системы. ПАВ-метки с уникальным кодом размещаются на железобетонной ограде, отделяющей склад угольной шихты от пути подачи вагонов для разгрузки, на расстоянии не более 10 метров друг от друга. Каждой метке в системе прописываются данные, определяющие его положение относительно начала склада в метрах. В момент движения вагоноопрокидывателя, считыватель считывает ПАВ-метки. Коды считанных ПАВ-меток передаются в систему на центральном сервере, система по уникальному коду ПАВ-метки и данным о расположении меток в координатной сети определяет место положения вагоноопрокидывателя.

На кран устанавливается два считывателя. Первый считыватель устанавливается на одну из опор крана, на которой расположены токосъёмники. Так же на кран устанавливается преобразователь интерфейса RS485-Wi-Fi (беспроводной коммутатор), обеспечивающий сбор и передачу данных от считывателя на сервер системы. Вдоль движения крана, на опорах линий питания крана, закреплены ПАВ-метки с шагом не более 10 метров. Каждой метке в системе прописываются данные, определяющие его положение относительно начала склада в метрах. В момент движения крана считыватель считывает метки. Коды считанных ПАВ-меток передаются в систему на центральном сервере, система по уникальному коду ПАВ-метки и данным о расположении меток в координатной сети определяется место положения крана.

Второй считыватель размещен на тележке крана. ПАВ-метки установлены на металлическом мосту крана, вдоль движения тележки, образующие координатную сетку. Во время движения тележки, считыватель считывает метки. Коды считанных ПАВ-меток передаются в систему на центральном сервере, система по уникальному коду ПАВ-метки и данным о расположении меток в координатной сети определяет место положения тележки крана.

Обмен данными между считывателями и сервером системы осуществляется по беспроводной Wi-Fi сети.

Успешно реализованный проект открывает перспективу полной автоматизации склада. Появляется возможность вести учёт принятых вагонов.

Интеграция с системой качества позволит автоматически рассчитывать качественные показатели штабелей, предсказывать характеристики угля, отгружаемого со склада, что неминуемо повысит качество выпускаемой продукции.

Автоматизация склада позволит оптимизировать рабочее время персонала и повысить безопасность производства за счет регистрации происходящих событий, снижения количества необходимого перемещения сотрудников в опасных зонах.

Библиографический список

1. Система радиочастотной идентификации на поверхностных акустических волнах / О. Гуреева // Компоненты и технологии. 2005. №6. С. 188-192.

РАЗРАБОТКА АСУ ТП ТЕРМООБРАБОТКИ ТРУБ В УСТРОЙСТВЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Эйсмонтт К.Ю.², Кузнецова В.С.¹, Киселев Е.В.¹, Некрасова Е.В.²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

²ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» -
ОАО «ВНИИМТ», г. Екатеринбург, Россия

Ускоренное охлаждение металла является одним из видов его термоупрочнения. Качество термической обработки и достигнутые служебные характеристики металла во многом зависят от способа его охлаждения. На трубных заводах используются различные устройства для принудительного охлаждения труб при термической обработке, в частности погружные ванны и спрейерные установки проходного типа. В качестве охлаждающей среды в устройствах используется вода. Спрейерные установки имеют ряд преимуществ по сравнению с ваннами. Такое устройство позволяет повысить равномерность и интенсивность охлаждения труб, так как снимает с поверхности трубы паровую пленку одинаково с верхней и нижней поверхностей трубы. За счет регулирования расходов воды, как по периметру, так и по длине трубы устройство позволяет обеспечить равномерную структуру металла трубы и исключить искривление труб [1,2,3].

Трубопрокатный цех №1 ЧТПЗ производит бесшовные трубы на пильгерстане из трубных низколегированных сталей. После пильгерстана трубы подвергаются резке на мерные длины и при температуре 450–500 °С помещаются в нормализационную печь. После выхода из печи трубы охлаждаются на воздухе и нормализуются. С целью повысить механические свойства металла в линию термообработки труб планируется поставить спрейерное устройство контролируемого охлаждения (УО), которое расположится за нормализационной печью. Проведенное расчетное моделирование процесса охлаждения труб в УО показало, что для достижения поставленных целей достаточно иметь УО, состоящее из трех секций охладителей длиной по 0,8 м. Каждая секция представляет собой 6 коллекторов с 12 форсунками [4]. Так как устройство охлаждения устанавливается в технологической линии прокатного стана, то необходимо обеспечение согласованной работы УО со смежными системами, в частности, с прокатной (выпускающей) клетью, отводящими рольгангами, линией клеймения, правильной машиной (или трайб-аппаратами) и, в ряде случаев, с автономной системой водоснабжения. Необходимо постоянное информационное обеспечение о размерах и месторасположении раската, вида технологии термоупрочнения, требуемым режимам охлаждения и др.

На текущий момент времени разработка УО находится на стадии проектирования, поэтому разработка программного обеспечения для эксплуатации оборудования является актуальной на сегодняшний день задачей.

Автоматизированная система управления технологическим процессом термоупрочнения труб в целом построена аналогично АСУ ТП термоупрочнения проката в потоке стана [5, 6] и предназначена для выполнения следующих основных функций:

- управления процессом ускоренного охлаждения труб в режиме реального времени;
 - визуализации объектов управления с отображением характеристик состояния агрегатов, параметров технологии, предупреждений и рекомендаций;
 - осуществления «ручного» ввода и коррекции технологических параметров режима охлаждения для разного сортамента;
 - приемки, систематизации и хранения информации;
 - аварийной и предупреждающей сигнализации;
 - резервного копирования, архивирования, уничтожения и восстановления информации.
- АСУ ТП будет иметь двухуровневую структуру построения, каждый уровень которой

выполняет определенные функции (рис.1). Разработка SCADA системы будет производиться на базе машинной визуализации CX-Supervisor от производителя OMRON. CX-Supervisor отличается большим набором функций, отвечающим широкому ряду требований человеко-машинного интерфейса на базе ПК, обладает очень простым и интуитивно понятным управлением и очень удобен для пользователя. Выбор SCADA системы обусловлен требованиями Заказчика, чтобы разработанная автоматизированная система управления была интегрирована в уже существующее оборудование. CX-Supervisor программируется на всем известном языке BASIC, при установке на инженерную станцию не требуются мощные компьютерные параметры, во время работы SCADA системы легко исправлять ошибки или вносить изменения. Этот пакет легок в освоении рабочим персоналом.

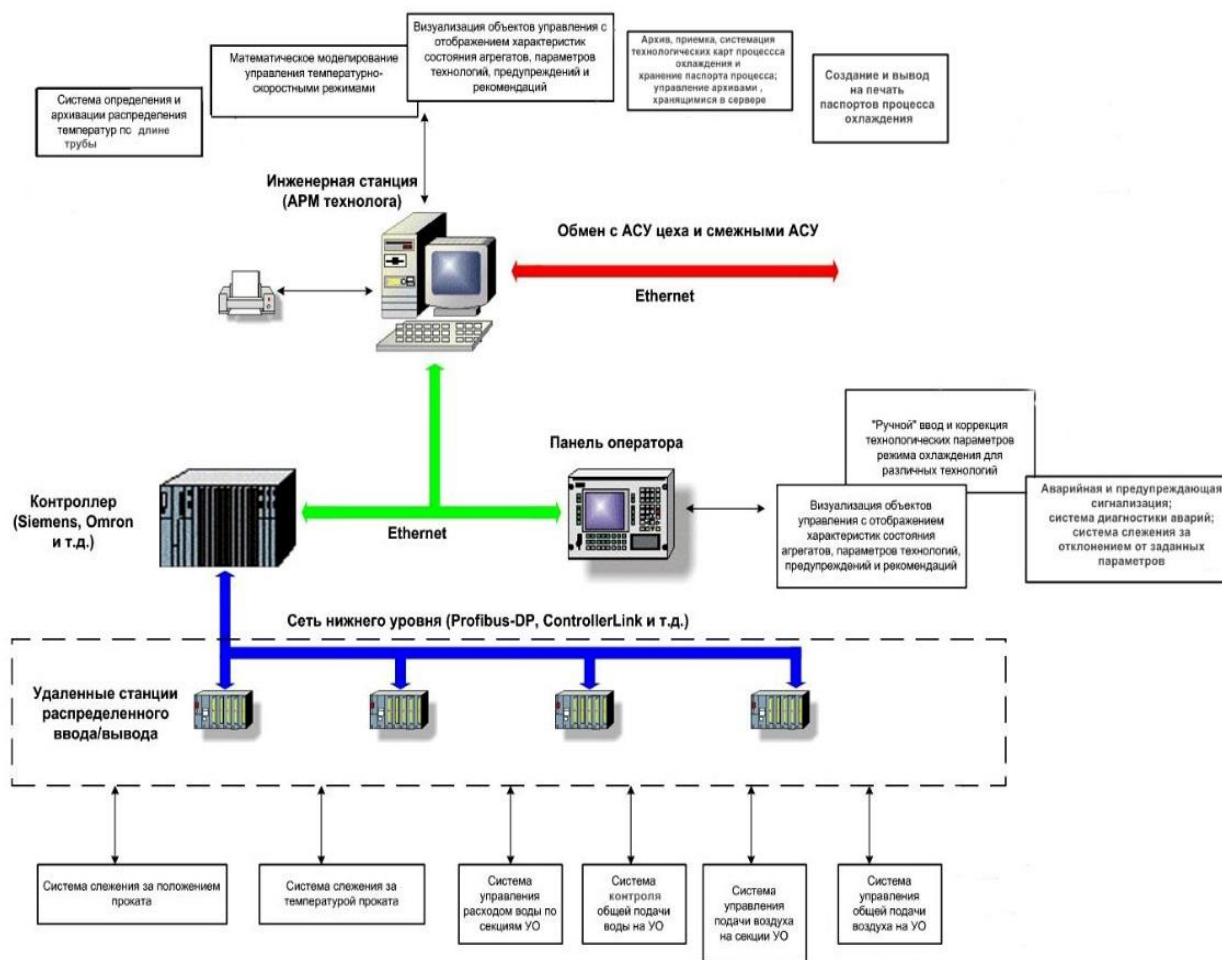


Рисунок - 1 Функциональная схема АСУ ТП термообработки труб в устройстве контролируемого охлаждения

В процессе выполнения функций контроля и управления процессом АСУ ТП решает широкий ряд задач, в рамках этой статьи рассматривается ключевая для технологического процесса задача достижения заданной температуры окончания процесса охлаждения. Реализация технологии термоупрочнения труб в УО требует, чтобы среднemasовые температуры начала и окончания охлаждения находились в интервале заданных температур и была достигнута заданная скорость охлаждения. Температура окончания охлаждения обеспечивается длительностью охлаждения, т.е. скоростью транспортировки трубы в УО. Скорость охлаждения зависит от расхода воды, поданного на поверхность трубы.

Для контроля температуры поверхности труб перед и после УО устанавливаются пирометры. Наличие трубы перед и после УО фиксируется датчиками наличия металла. Пирометр и соответствующий ему датчик наличия металла визируются в одной плоскости, чтобы

запись показаний пирометра в архив начиналась при попадании переднего конца трубы под датчик наличия металла и заканчивалась после выхода заднего конца трубы из-под него. Расходы воды на каждую секцию, на каждый коллектор секции отдельно регулируются. На рис.2 представлена схема расположения датчиков и приборов, необходимых для реализации АСУ ТП задачи достижения заданной температуры окончания охлаждения. В таблице 1 приведен перечень этих датчиков.

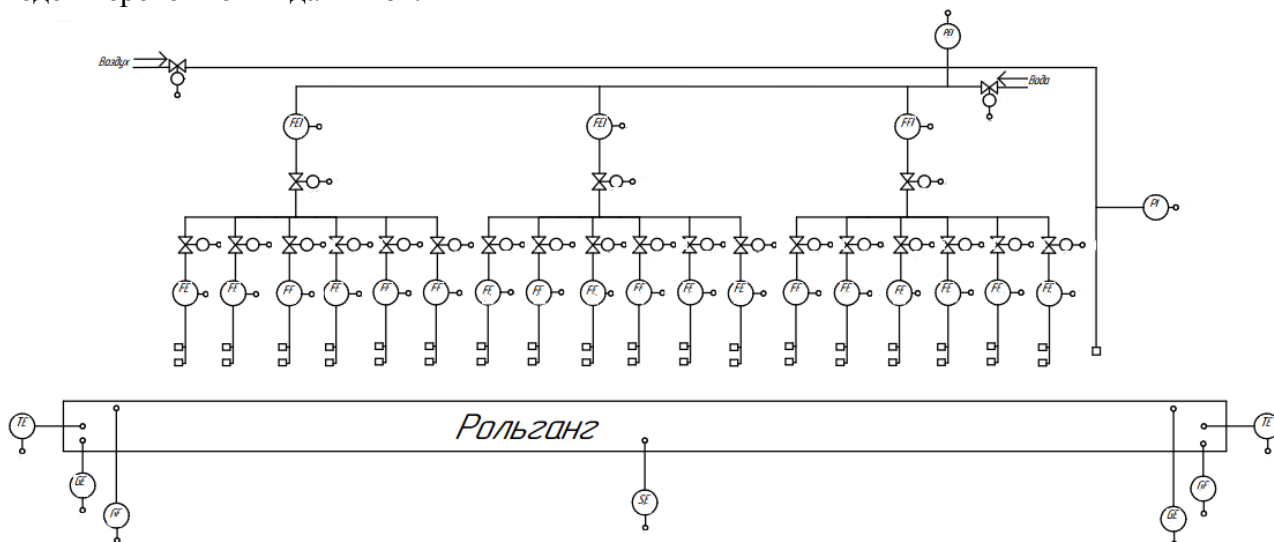


Рисунок - 2 Схема расположения датчиков

До начала термообработки партии труб в систему АСУ ТП УПО поступает информация о размерах труб, требуемой технологии обработки, заданных температуре начала и окончания охлаждения, количестве включенных в работу зон охлаждения и расходах воды. Выбор параметров работы УО осуществляется по технологической карте, содержащейся в базе данных АСУ ТП.

Основными технологическими параметрами управления процессом являются расходы воды на верхние и нижние коллекторы и скорость транспортировки трубы через УО.

Таблица 1 - Перечень датчиков, необходимых для реализации задачи достижения заданной температуры окончания охлаждения

№ п/п	Обозначение датчика	Ко-во, шт	Описание датчика
1	FEI	3	расходомеры электромагнитные
2	FE	18	расходомеры электронные
3	PEI	1	электронный манометр для воды
4	PI	1	манометр осевой
5	TE	2	пирометры
6	SE	1	датчик контроля скорости рольганга
7	GE	2	инфракрасные датчики горячего металла бесконтактного типа
8	GE	2	датчики наличия металла барьерного типа

На рисунке 3 изображена блок-схема решения задачи измерения температуры трубы и подачи воды для охлаждения.

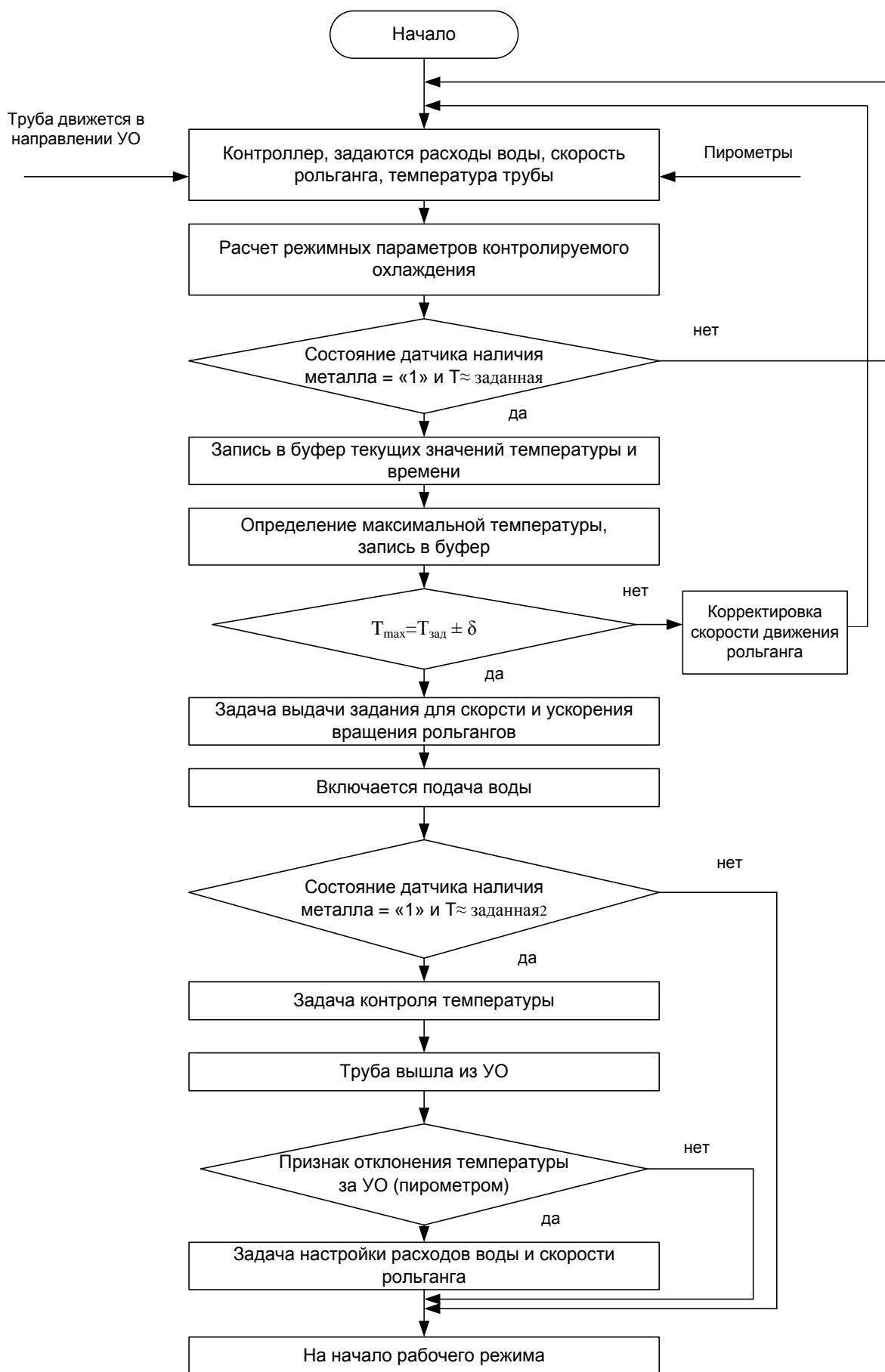


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма измерения температуры трубы и подачи воды для охлаждения

Задача достижения заданной температуры окончания охлаждения в автоматизированном режиме управления реализуется по следующему алгоритму:

1. В АСУ ТП из внешних структур поступают данные о партии труб, подлежащих термообработке.

2. Из базы данных технологических карт АСУ ТП в контроллер передаются заданные параметры работы УО, и именно расходы воды на коллекторы, температура начала и окончания охлаждения и скорость транспортировки труб.

3. При срабатывании датчика наличия металла до УО, визированного в одну плоскость с пирометром до УО, запускается задача определения фактической температуры начала охлаждения, задача подачи воды на коллекторы и задача слежения за положением трубы в устройстве.

4. Если фактическая температура начала охлаждения отличается от заданной на величину, превышающую допустимую, запускается задача корректировки скорости транспортировки, для которой используется математическая модель процесса охлаждения труб, разработанная в ОАО «ВНИИМТ».

5. После выхода трубы из УО при срабатывании датчика наличия металла за УО, визированного в одну плоскость с пирометром за УО, запускается задача определения фактической температуры окончания охлаждения.

6. Если фактическая температура окончания охлаждения отличается от заданной на величину, превышающую допустимую, запускается задача корректировки расходов воды.

Необходимо отметить, что для проката задача определения температуры его поверхности имеет свои особенности. На поверхности проката до УО может быть окалина, на поверхности проката после УО – не удаленная вода. За фактическую температуру поверхности проката принимается максимальное значение температуры из массива показаний пирометра по длине трубы, т.к. температура чистой от окалины и воды поверхности имеет более высокое значение.

Выводы

Набор функций разработанной двухуровневой АСУ ТП рассчитан на управление быстротекущим процессом термоупрочнения труб в устройстве контролируемого охлаждения проходного типа и учитывает технологические особенности охлаждения в потоке прокатного стана. Разработанный алгоритм управления температурой окончания охлаждения, выбор и расположение датчиков, необходимых для его реализации, наличие на верхнем уровне АСУ ТП математической модели процесса охлаждения обеспечивают соблюдение параметров термообработки и гарантируют требуемые качества упрочненных труб.

Библиографический список

1. Охлаждающее оборудование для термической обработки труб. Хейфец Г.Н., Кадинова А.В., Васильев Е.Л. Бюллетень НТИ №2, 1979 г.

2. Деформационно-термическое упрочнение бесшовных труб из малоуглеродистых сталей. С.Я. Курашвили, Г.В.Кашакашвили, Сталь №2, 2002 г.

3. Патент РФ 22117507. Устройство для быстрого охлаждения. Надинский М.Н., Бедняков В.В. 27.11.2003г.

4. Ю.Г. Ярошенко, Ю.И. Липунов, К.Ю. Эйсмонтт, В. С. Кузнецова, М.В. Захарченко, Е.В. Киселев. Расчетное моделирование процесса ускоренного охлаждения труб для ТПЦ-1 ЧТПЗ.

5. Липунов Ю.И., Эйсмонтт К.Ю., Завгороднев Д.В. Некрасова Е.В., Варламов С.О., Казабкаев Н.М. Автоматизированная система управления устройством контролируемого охлаждения на стане 5000, «Сталь», № 3, 2005 с. 61-65.

6. Липунов Ю.И., Эйсмонтт К.Ю., Некрасова Е.В., Завгороднев Д.В. Разработка систем автоматизированного управления технологическим процессом термического упрочнения проката в потоке стана, «Известия ВУЗов. Черная металлургия», № 12, 2009, с. 68-72.

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА НА ОСНОВЕ КОСВЕННОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Анпилов А.О.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,
г. Старый Оскол, Россия*

На предприятиях горно-металлургического комплекса получили широкое распространение дисковые вакуум-фильтры, используемые на стадии обезвоживания железорудного концентрата. Продуктивность этой стадии зачастую определяет общую эффективность отдельно взятого горно-обогатительного комбината, тогда как качество фильтрования непосредственно влияет на ценность и сорт конечного продукта вместе со стоимостью его дальнейшей переработки [1].

Целью данной работы является повышение производительности дискового вакуум-фильтра при условии поддержания влажности выходного продукта процесса обезвоживания на необходимом уровне. Актуальность данной работы подтверждается большой распространённостью дисковых вакуум-фильтров, высокой энергозатратностью процесса обезвоживания железорудного концентрата, а также ручным управлением дисковыми вакуум-фильтрами.

Ключевым параметром работы вакуум-фильтра, является влажность осадка. В настоящее время данный параметр измеряется в большинстве случаев с помощью лабораторного анализа, который проводится с малой периодичностью и большим запаздыванием. Поэтому во избежание превышения максимально допустимого уровня влажности концентрата оперативный персонал поддерживает её с определенным запасом, что приводит к снижению производительности вакуум-фильтра.

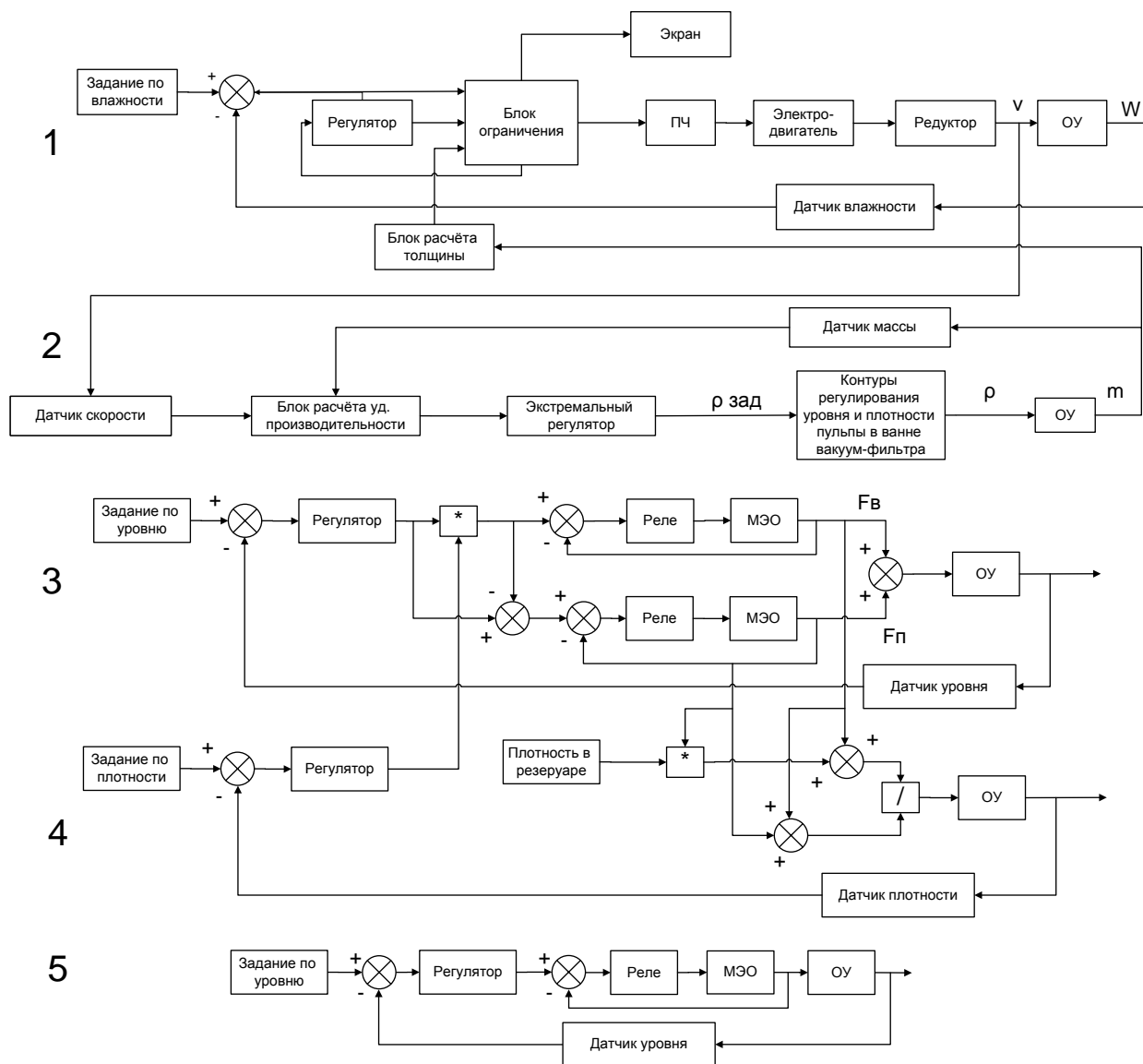
В результате анализа специализированной литературы [2], [3] и патентов [4]-[6] была разработана система управления процессом обезвоживания железорудного концентрата, содержащая контуры регулирования влажности осадка, удельной производительности, уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра, плотности пульпы в ванне вакуум-фильтра, уровня пульпы в пульподелителе. Данные контуры регулирования представлены на рисунке 1.

Для функционирования разработанной системы управления процессом обезвоживания необходимы датчики массы и влажности осадка. Установка соответствующих датчиков является экономически и технологически нецелесообразной. В таких условиях предлагается провести исследование взаимной корреляции параметров вакуум-фильтра с целью организации косвенного измерения влажности и массы осадка на основе выявления скрытых зависимостей технологических параметров.

При неизменных плотности пульпы, скорости вращения дисков вакуум-фильтра и величине вакуума в зоне набора и сушки осадка колебания влажности и массы осадка на дисках определяются в первую очередь колебаниями гранулометрического состава кека, от которого зависит величина удельного сопротивления осадка.

Таким образом, величина удельного сопротивления осадка, которая может быть определена по изменению разрежения и вибрации в вакуумной системе фильтра может являться косвенным показателем массы осадка на дисках и его влажности.

Для подтверждения данного предположения была разработана система сбора данных технологических характеристик вакуум-фильтра. Функциональная схема данной системы представлена в статье [7]. В ходе проведенных на реальном объекте экспериментов были получены данные о величине вакуума, вибрации, частоте вращения дисков, толщине и массе осадка на секторе, влажности осадка и гранулометрическом составе кека.



1- контур регулирования влажности осадка; 2 - контур регулирования удельной производительности; 3 - контур регулирования уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра; 4 - контур регулирования плотности пульпы в ванне вакуум-фильтра; 5 - контур регулирования уровня пульпы в пульподелителе

Рисунок 1 - Структурная схема разработанной системы автоматического управления

В результате анализа полученных данных были выявлены зависимости величины вакуума в вакуумной системе фильтра от массы осадка на секторе и влажности осадка на секторе от величины вакуума в вакуумной системе фильтра. Полученные зависимости подтверждают предположение о том, что величина удельного сопротивления осадка, которая может быть определена по изменению разрежения и вибрации в вакуумной системе фильтра может являться косвенным показателем массы осадка на дисках и его влажности.

С целью выявления скрытых зависимостей в экспериментальных данных применялся аппарат нейронных сетей, обладающих свойством выявления таких зависимостей [8], [9]. Для создания модуля косвенной оценки влажности и массы осадка было принято решение использовать многослойную нейронную сеть. В результате оптимизации её структуры было установлено, что данная нейронная сеть должна иметь 4 входных, 2 выходных нейрона с линейной функцией активации и 9 нейронов в скрытом слое с функцией активации «гиперболический тангенс». Структура нейронной сети, реализующей косвенную оценку влажности и массы кека, представлена на рисунке 2.

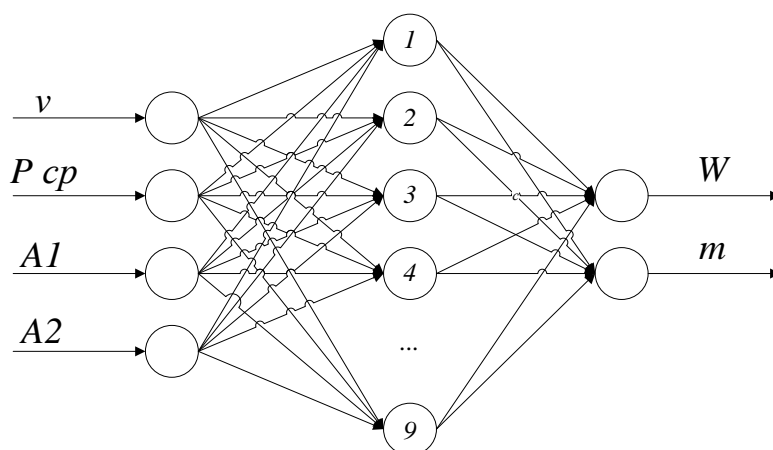


Рисунок 2 - Структура нейронной сети, реализующей косвенную оценку влажности и массы кека

На основе полученного модуля косвенной оценки была в пакете MatLAB разработана математическая модель системы управления. Для проведения оценки её эффективности была также реализована математическая модель базовой системы с управлением на основе лабораторного анализа.

По результатам моделирования базовой и разработанной систем управления процессом обезвоживания железорудного концентрата можно сделать следующий вывод: внедрение разработанной системы автоматического управления процессом обезвоживания позволит повысить производительность участка фильтрации на 3,37% и снизить удельные затраты на электроэнергию на 3,27%;

Кроме того, внедрение разработанной системы управления процессом обезвоживания позволит снизить удельные затраты на техническую воду, пар, сжатый воздух, а также улучшить работу последующего передела в результате стабилизации влажности концентрата.

Исследование проведено при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации, договор № 14.575.21.0133 (RFMEFI57517X0133).

Библиографический список

1. Воловиков, А.Ю. Экспериментальная установка для исследования процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием вакуумных дисковых фильтров / А.Ю. Воловиков. – Режим доступа: http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/8/300-303_Volovikov2-8-2013.pdf.
2. Гольберт, Ю. С. Процессы и оборудование для обезвоживания руд [Текст] / Ю. С. Гольберт, А. А. Гонтаренко, В.Т. Баршполец, Б.В. Гишук.– М.: Недра, 1977. – 168 с.
3. Гольберт, Ю. С. Обезвоживание концентратов чёрных металлов [Текст] / Ю.С. Гольберт, А. А. Гонтаренко. – М: Недра, 1986. – 182 с.
4. Пат. 1713617 А1 СССР, В 01 D 37/04. Способ автоматического управления работой вакуум-фильтра [Текст] / Кононенко Г. Г., Бокатий А. Н., Дядюра В. В., Шаркевич М. А., Дейнега В. Г.; заявитель и патентообладатель Криворожское отделение Украинского государственного проектного и проектно-конструкторского института "Металлургавтоматика". - № 4793799/26; заявл. 03.01.90.; опубл. 23.02.92., Бюл. № 7. – 3 с.
5. Пат. 691156 СССР, В 01 D 37/04. Способ автоматического управления дисковым вакуум-фильтром [Текст] / Пацкан А. Я., Щелинский А. А., Черник Ю. П., Золотарёв А. И.; заявитель и патентообладатель Ворошиловградский филиал Государственного проектно-конструкторского и научно-исследовательского института по автоматизации угольной промышленности. - № 2434376/23-26; заявл. 27.12.76; опубл. 15.10.79., Бюл. № 38. – 3 с.
6. Пат. 601029 СССР, В 01 D 37/04. Способ управления процессом обезвоживания в вакуум-фильтрах [Текст] / Гончаров Ю. Г., Энгель П. С., Рясной А. М., Кайгородцев Ю. М.,

Миллер А. А., Подопригора В. П., Малюта Д. И., Халецкий Б. Е.; заявитель и патентообладатель Криворожское отделение Украинского государственного проектного института "Металлурговтоматика". - № 1885749/23-26; заявл. 19.02.73; опубл. 05.04.78., Бюл. № 13. – 2 с.

7. Анпилов А. О., Халапян С. Ю., Исследование способов управления дисковым вакуум-фильтром с целью повышения его производительности // Сборник научных и научно-практических докладов. Старый Оскол, 2016. С. 176-178.

8. On neural network model development to solve parallel robots kinematics and control problems / S.Y. Khalapyan, L.A. Rybak, A.I. Glushchenko, Y.A. Mamaev // International Journal of Pharmacy & Technology. – 2016. – Vol. 8, № 4. – P. 25085-25095.

9. Koldaev, A.I. The Neuro-Fuzzy Controller of Reactor Installation Management of Butanol Hydrogenation / A.I. Koldaev // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2014. – Vol. 3. – P. 1568-1571.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ

Паршина А.А., Баранов Г.Л.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия
Институт машиноведения Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия*

В атомном машиностроении, авиа- и ракетостроении находят применение длинные полые изделия, которые имеют переменную по периметру поперечного сечения толщину стенки [1]. Эти изделия - трубы содержат, как правило, в составе поперечного сечения правильные многоугольники (квадрат, шестиугольник и др.), или имеют криволинейный профиль. В работе [2] изучены механические переменные очага деформации при изготовлении в один проход шестигранных снаружи и круглых внутри профильных труб. Из практики однопроходного волочения известно, что продольный профиль инструмента для этого случая может быть принят в виде усеченной пирамиды, либо содержать в своем составе входной круговой конус и часть усеченной пирамиды. Возможны случаи, когда готовый профиль изделия не может быть получен за один переход и необходимо определять профиль инструмента на промежуточных размерах второго и последующих переходов. Особенно это важно при изготовлении профильных труб криволинейного очертания, когда поверхности инструмента по переходам не являются подобными друг другу фигурами.

В настоящее время для изготовления инструмента подобного рода может быть использована аддитивная технология, которая предусматривает, в частности, трехмерное моделирование объема детали. В этой связи возникает необходимость нахождения формы поперечного и продольного очертания рабочего канала инструмента. Построение профиля рабочего инструмента в этих случаях рационально выполнять на основе положения, согласно которому перемещение частиц металла при пластической деформации подчиняется закону наименьшего сопротивления. Это положение может быть реализовано путем построения линий тока (траекторий перемещения металла), ортогональных профилю заготовки и также профилю готовой трубы. Кроме того, должны быть построены замкнутые кривые, делящие на части линии тока, которые ортогональны им, и которые были названы эквипотенциалами.

Можно показать, что уравнение эквипотенциалей $\varphi(x, y)$ является решением уравнения Лапласа при заданных граничных условиях. Такими условиями являются уравнения контура заготовки и контура готовой трубы. Моделирование аналогично воспроизводит физическое явление, отличное по своей природе от изучаемого, но описываемое теми же уравнениями. В этой связи построение эквипотенциалей для сплошных фасонных профилей в работе [3] предложено выполнять на основе электрогидродинамических аналогий.

Построение линий тока металла и эквипотенциалей в данной статье распространено на полые изделия – трубы с переменной толщиной стенки, что позволило определить профиль рабочего инструмента (как волок, так и оправок), в том числе для труб, имеющих криволинейные очертания поперечного сечения. Необходимость оперативного определения профиля инструмента, которое учитывает фактическое течение металла, многократность уточнения расчетных параметров, создание возможности такого расчета заводским калибровщиком в случае поступления нового заказа, снижения влияния субъективного фактора приводят к необходимости создания методики расчета калибровки, пригодной как для проектирования процесса производства профилей простой формы (на основе правильных многогранников), так и для проектирования калибровки профилей сложной криволинейной формы.

Для определения положения линий тока металла и профиля инструмента ниже приведена методика их компьютерного построения, и алгоритмизация на этой основе, которая выглядит следующим образом:

Случай 1. Построение линий тока для проектирования волочения труб, имеющих по наружной поверхности многогранник с внутренним отверстием.

В качестве примера рассмотрим волочение квадратной трубы с внутренним круглым отверстием (рисунок 1). Строим наружный и внутренний контуры готовой трубы, которые принимаем за эквипотенциали. Поскольку для рассматриваемого случая имеет местная плоскостная симметрия четвертого порядка, то рассматриваем 1/8 всего профиля. Эти кривые (для заготовки и готового изделия) описываем в программе Компас-3D кубическими β –сплайнами Безье [8]. Следует заметить, что упомянутая выше компьютерная программа имеет широкие возможности построения кривых с заданными свойствами, их разнообразное редактирование, планиметрирование и т.д.

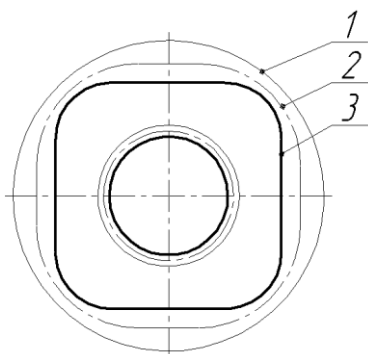


Рисунок 1 - Контурные поперечного сечения заготовки (1), готовой трубы (3) и промежуточного перехода (2).

Выражение для кубического β –сплайна Безье выглядит следующим образом:

$$\beta(\tau) = (1 - \tau)^3 P_0 + 3\tau(1 - \tau)^2 P_1 + 3\tau^2(1 - \tau)P_2 + \tau^3 P_3, \quad \tau \in [0,1], \quad (1)$$

где P_0, P_1, P_2 и P_3 - четыре опорные точки

Как известно, сплайн – это кривая, имеющая наименьшую кривизну, и проходящая через заданные точки, т. е. он является линией наименьшей длины. Именно эти требования выдвигаются при построении линий тока. Участок внешней кривой делится на равные части. В точках – границах участков строим кривую Безье (линию тока) через соответствующие точки начального (заготовки) профиля.

Кривые Безье отредактированы таким образом, чтобы при пересечении профилей касательные к ним были параллельны вспомогательным перпендикулярам. В свою очередь, полученный набор кривых – линий тока делятся на части, определяемые вытяжками в первом, втором или в последующих переходах.

Размечаем отрезки на линии тока и по полученным точкам в программе Компас-3D

строим ортогонально кривые, называемые эквипотенциалами. Две соседние эквипотенциали определяют собой профили входного и выходного сечения необходимых волок (рис. 1).

Действительно, кривая 1 определяет входной контур волокна первого перехода, а эквипотенциаль 2 – ее выходной контур. В свою очередь, кривая 2 определяет входной контур волокна во втором переходе, а кривая 3 – выходной профиль второй волокна, и, следовательно, профиль готовой трубы.

Случай 2. Построение линий тока трубы для профилирования внутренней поверхности шестигранника с наружной круглой поверхностью стенки.

В этом случае описываем кривыми Безье внутреннюю поверхность заготовки и заданную поверхность шестигранника (рисунок 2). Как и ранее, учитываем плоскостную симметрию профиля (шестой порядок) и рассматриваем 1/12 часть всего профиля кривой. Далее построения производим как и в предыдущем случае. Отличие заключается в том, что наружный контур трубной заготовки и его последующие по переходам положения (на рисунке не показаны) определяются конфигурацией последовательно применяемых круговых конических волок. Следовательно, эти контуры представляют собой последовательно уменьшающиеся окружности, а внутренняя поверхность профиля заготовки принята в виде эквипотенциали (на рисунке – кривая 1). При протягивании трубы на профильной оправке внутренняя поверхность трубы принимает вид кривой 2 (контур оправки на промежуточном переходе), а контур 3 определяет профиль оправки на готовом переходе.

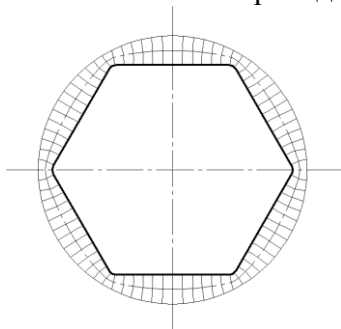


Рисунок 2 - Контур поперечного сечения внутренней поверхности заготовки 1 (тонкая линия), промежуточного перехода 2 (штрих-пунктир) и готовой трубы 3 (толстая линия). Наружные контуры заготовки и готовой трубы не показаны

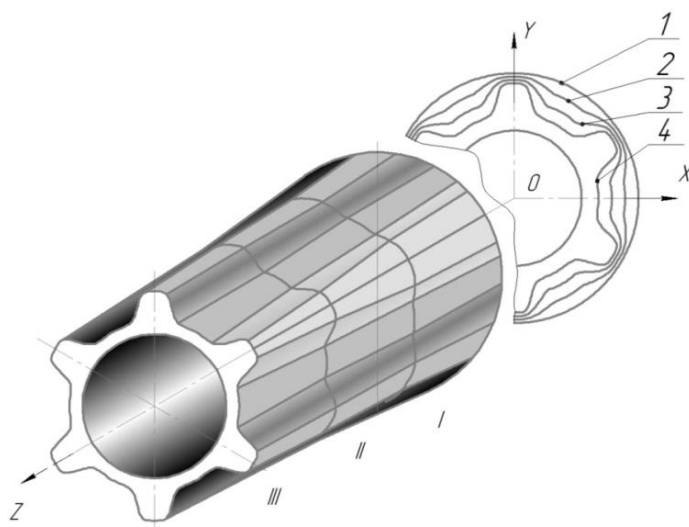


Рисунок 3 - Последовательность формоизменения металла в очаге деформации при волочении в три перехода криволинейного профиля: 1 – наружный диаметр заготовки, 2 и 3 – эквипотенциали промежуточных первого и второго переходов, 4 – контур готовой трубы. I, II и III – продольные профили волок первого, второго и третьего переходов

Для криволинейного профиля (рисунок 3) контуры профильных волок должны принимать последовательно положения от первого ко второму, затем к третьему, или, если необходимо, к четвертому (готовый наружный профиль). При этом используются последовательно уменьшающиеся цилиндрические оправки, если волочение осуществляется на неподвижных оправках и отверстие задается на первом переходе, если используется волочение на подвижной оправке. Подобным образом на основе компьютерной графики может быть построен профиль оправок для волочения труб с внутренними криволинейными ребрами. Продольный профиль строится регулярными коноидами (многоугольники), либо цилиндрами (криволинейный профиль). Результатом работы является создание алгоритма с адаптацией по точности геометрии изделия.

Известные технологии обработки канала волок (например, электроискровая, электрохимическая технологии и др.) позволяют изготовить волокна с гранями, отличными от плоской. Обработка оправок криволинейной формы также не представляет особых трудностей, например, на основе некруглого шлифования.

Определенный таким образом профиль можно использовать в качестве исходного для дальнейшего твердотельного моделирования и изготовления инструмента. Одними из перспективных маршрутов представляются следующие. Модель канала волокна путем вычитания из модели корпуса волокна превращают в трехмерную модель волокна. После добавления вспомогательных элементов модель может быть распечатана на трехмерном принтере достаточной точности с использованием легкоплавкого полимерного или воскового материала. Полученная промежуточная модель используется в качестве выплавляемой для литья детали - рабочей части волокна из твердого сплава. Второй перспективный маршрут предполагает непосредственное создание рабочей части волокна путем послойной трехмерной печати. Рациональными технологиями здесь представляются послойное спекание твердосплавного порошка (например, при помощи нагрева лазером), либо послойное напыление при помощи плазменной установки.

Библиографический список

1. Паршин С.В. Состояние и перспективы развития производства профильных труб / С.В. Паршин. М.: Производство проката, 2008, № 2, с. 32-35.
2. Паршина А.А. Особенности моделирования очага деформации при волочении труб с переменной толщиной стенки / А.А. Паршина, Производство проката, 2015, №12
3. Гун Г.Я. Пластическое формоизменение металлов / Г.Я. Гун, П.И.Полухин, В.П. Полухин, В.А. Прудковский. М.: Металлургия, 1968. 416 с.
4. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ НАСТРОЙЩИК ДЛЯ ОТРАБОТКИ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОКАТНОЙ КЛЕТЬЮ

Петров В.А. , Глущенко А.И., Еременко Ю.И.

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета "МИСиС",
г. Старый Оскол, Россия*

В металлургической промышленности наиболее энергоемким является прокатное производство, включающее в себя прокатные станы. Момент захвата заготовки прокатными валками является наиболее важным в работе прокатной клетки [1]. Отработка таких возмущений системой управления электроприводом осложняется изменением амплитуды нагрузки. Причиной этому служит технология реверсивной прокатки: заготовка несколько раз проходит через прокатные валки, при каждом проходе изменяются геометрические размеры заго-

товки и раствор валков, происходят смена калибра и кантовка заготовки. Также влияние оказывают наличие окалины на поверхности металла и нестационарность его температуры. Кроме этого обработка возмущений происходит на тех же самых коэффициентах регуляторов, что и переходные процессы. Все вышеперечисленное приводит к «неоптимальной» обработке возмущений.

Улучшить обработку возмущений при дрейфе их амплитуды может адаптивная система управления. В данной работе в качестве механизма адаптации выбран нейросетевой настройщик, разработанный авторами для обработки картины задания при изменяющихся параметрах объекта управления в [2] и для режима обработки возмущений постоянной амплитуды в [3].

Данная работа посвящена применению нейросетевого настройщика для настройки ПИ-регулятора скорости в режиме обработки возмущений с изменяющейся амплитудой.

Эксперимент производился на упрощенной модели двухвалковой реверсивной прокатной клетки (рис.1). Данная прокатная клетка оснащена двигателями постоянного тока независимого возбуждения мощностью 3.5 МВт.

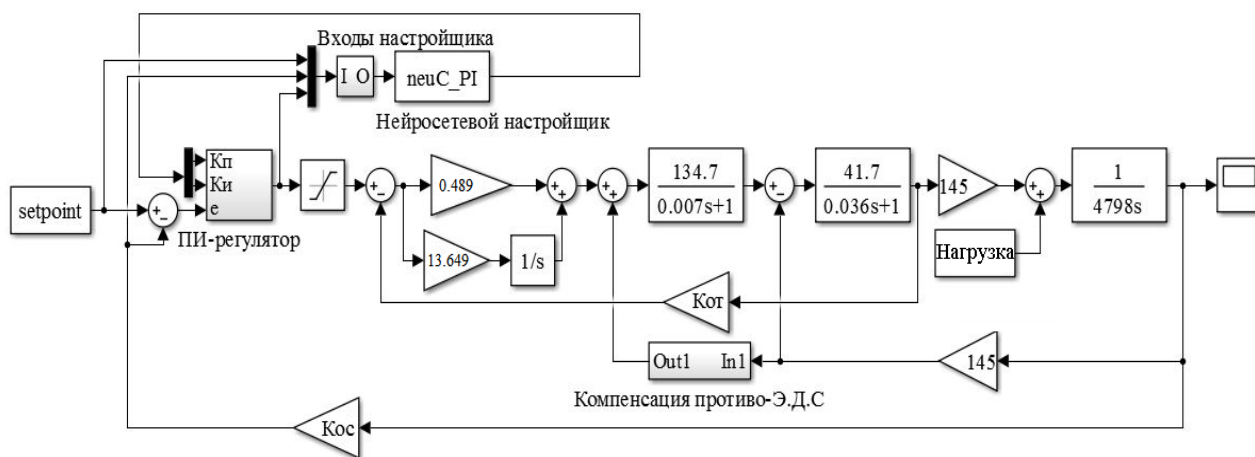


Рисунок 1 – Система управления с НС настройщиком

Регулятор тока настроен на технический оптимум ($K_n = 0.489$, $K_u = 13.649$), регулятор скорости настроен на симметричный оптимум ($K_n = 1.745$, $K_u = 31.157$). Задание по скорости реализовано в блоке setpoint и изменяется линейно 0 об/мин (0 В) → 60 об/мин (4 В) → 0 об/мин (0 В) → -60 об/мин (-4 В). Коэффициент обратной связи по скорости K_{oc} равен 0.637; коэффициент обратной связи по току $K_{от}$ равен $9.407 \cdot 10^{-4}$.

Нейросетевой настройщик реализован в виде S-функции *NeuC_PI*. Входами нейросетевого настройщика являются: задание по скорости, действующее значение скорости и выход ПИ-регулятора скорости. Выходы настройщика: значения K_n и K_u для регулятора скорости. Более подробно структура настройщика рассмотрена в [4].

В ходе эксперимента моделировался цикл работы прокатной клетки (рисунок 2А): разгон прокатных валков до номинальной скорости (60 об/мин), захват заготовки, прокат заготовки, «выброс» заготовки, останов, реверс. При выявлении возмущений (рисунок 2Б) нейросетевой настройщик (НН) увеличивал K_n (рисунок 2В) и K_u (рисунок 2Г) регулятора скорости. Это позволило снизить максимальное отклонение от задания на 15 % и повысить скорость обработки возмущения на 45 %, по сравнению с системой без настройщика (рисунок 2Д). Подобное улучшение позволит снизить количество отсекаемого металла на 1,5 %.

Таким образом, применение нейросетевого настройщика для обработки возмущений с изменяющейся амплитудой позволит улучшить качество работы электропривода прокатной клетки в режиме захвата заготовки прокатными валками.

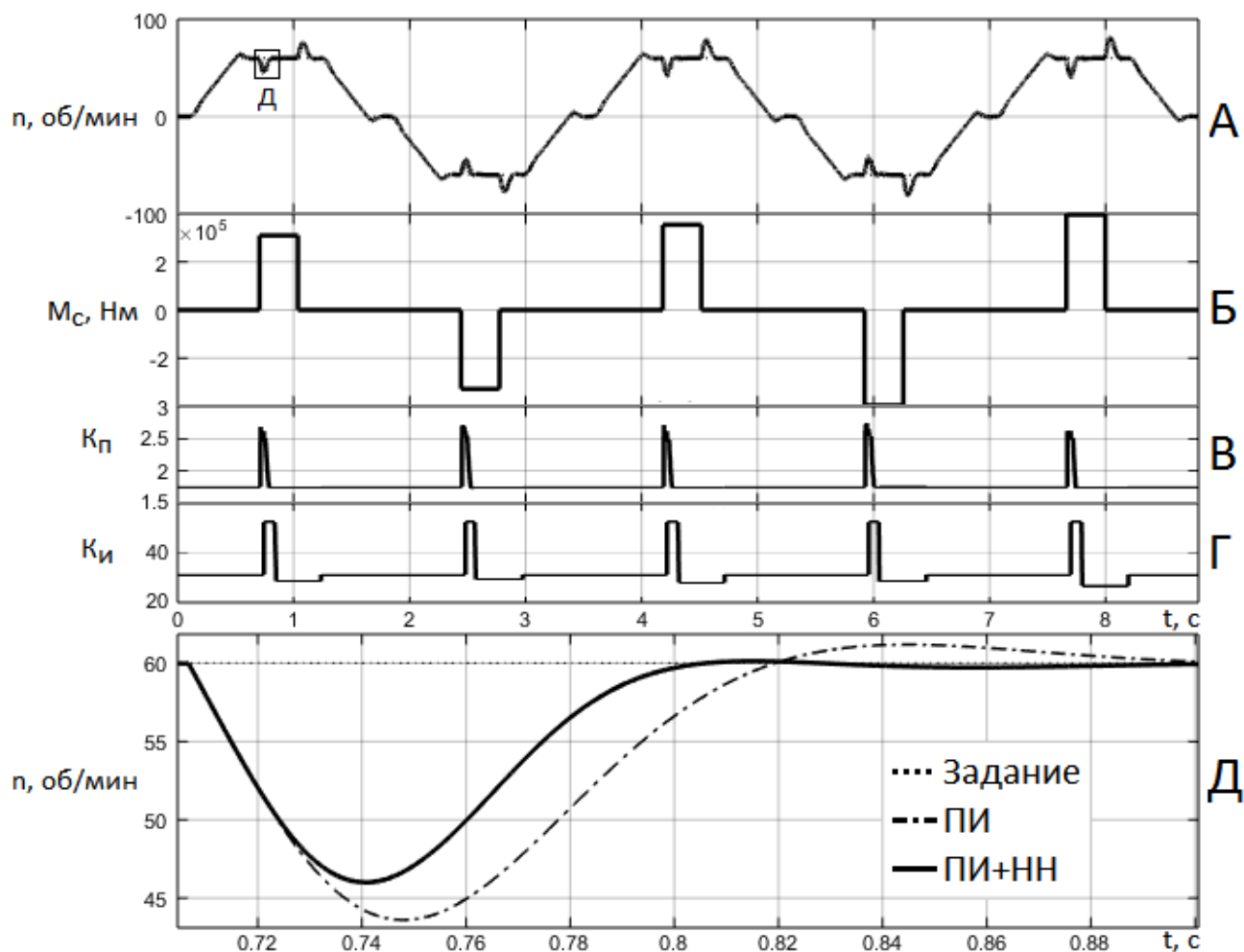


Рисунок 2 – Результаты эксперимента при захвате заготовки прокатной клетью

Исследование проведено при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации, договор № 14.575.21.0133 (RFMEFI57517X0133).

Библиографический список

1. Вернев В. В. Влияние технологических параметров на момент, действующий на валки прокатной клетки в период захвата полосы // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – 2004. – №8 – С. 375-379.
2. Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Петров В.А. О нейросетевой адаптации параметров ПИ-регулятора контура тока системы управления прокатной клетью в реальном времени // *Системы управления и информационные технологии*. – 2016. – Т.65. – № 3. – С.62-68.
3. Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Петров В.А., Полещенко Д.А. О применении нейросетевого настройщика параметров ПИ-регулятора скорости в условиях действия возмущений при управлении прокатной клетью. *Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сборник трудов IX международной конференции «ПМТУКТ-2016»*. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2016. – С. 138-141.
4. Еременко Ю. И., Глущенко А. И. О разработке метода выбора структуры нейронной сети для решения задачи адаптации параметров линейных регуляторов // *Управление большими системами*. – 2016. – Вып. 62. – С.75-123.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ MACHINE LEARNING В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Григорьев С.С.

ООО «ЕвразТехника», г. Новокузнецк, Россия

Современные информационные технологии уверенно находят место на производстве. Угольная промышленность не исключение, она включает в себя множество технологических процессов, требующих особого подхода к автоматизации и контролю безопасности всего рабочего процесса.

В любой шахте одной из важнейших систем является система автоматического аэрогазового контроля (АГК). Эта система постоянно следит за концентрацией метана и угольной пыли в рудничной атмосфере, и соответственно реагирует на нештатные ситуации, тем самым повышая взрывобезопасность рабочей зоны шахтеров. Обо всех превышениях предельно допустимой концентрации метана система автоматически сообщает ответственным лицам посредством SMS и e-mail рассылки. Эта информация может содержать как опасные превышения, предшествующие взрыву, так и «безобидные» регламентированные работы по обслуживанию системы АГК. Но причины превышений система распознать не может, что плохо сказывается на качестве сообщаемой информации, иными словами, отправляется много «спама». Чтобы как то решить эту проблему в 2016 году была разработана и внедрена система алгоритмического определения характера превышения, в зависимости от которой принималось решение об отправке той или иной информации, но ее точность составляла всего 55-64 % в зависимости от специфики шахты и других условий.

Со временем требования к точности распознавания росли, а подход, использующий классическое алгоритмическое решение исчерпал себя. Чтобы повысить точность определения требовалось использовать новые методы распознавания. Необходимо было, чтобы система работала по следующей схеме: произошло превышение – система в течение 5 минут определила характер и причины этого превышения и сообщила о них ответственным людям. Выбор был остановлен на алгоритмах машинного обучения. Требовалось определить возможность их использования в данной задаче, определить стратегию выбора конечного решения и определить наиболее подходящий алгоритм обучения.

Алгоритмы машинного обучения в большинстве своем базируются на анализе исторических данных, поиске в них эмпирических и скрытых закономерностей, применяя для этого знания в области математической статистики, методов оптимизации, теории вероятностей и численных методов.

Одним из ярких отличий традиционных алгоритмов от алгоритмов машинного обучения является способность объяснить выбор им того или иного решения. В случае традиционных алгоритмов все просто: зная исходные данные, всегда можно сказать, почему алгоритм выбрал именно такое решение, просчитав заданные ему условия. Например, в алгоритме заложено условие: если значение расчётной величины превысило максимально допустимое значение, то формируется сигнал «тревога».

Алгоритмы машинного обучения предусматривают иной способ. Методика обучения модели подразумевает создание «черного ящика», состоящего из множества функций, зависимостей, весовых коэффициентов, которые формируются автоматически на основе накопленных данных. Их интерпретация в понятную для человека форму зачастую невозможна. Это автоматически повышает требования к точности таких алгоритмов, поскольку в случае ошибочного определения критической ситуации невозможно доступно объяснить, почему алгоритм принял это решение. Поэтому одним из основных требований было исключение ситуаций, при которых алгоритм ошибался при определении критических ситуаций, иными словами, чтобы вероятность сокрытия факта превышения концентрации газа стремилась к нулю.

В машинном обучении это является классической задачей классификации с повышенной точностью. В качестве кандидатов рассмотрены следующие алгоритмы: обнаружение аномалий, наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов, метод опорных векторов с многомерным распределением, решающие деревья, «случайный лес». Базовая реализация всех алгоритмов доступна в dotNet (фреймворк AccordNet).

Помимо выбора подходящего алгоритма, требовалось также обеспечить качественный набор исходных данных. Данные здесь играют одну из ключевых ролей. Чем качество данных выше и чем их больше – тем больше шансов получить хорошо обученную модель. Под качеством здесь понимается достаточность признаков, охват большого количества всевозможных ситуаций, правильность разметки данных человеком (учителем).

В качестве исходных данных выступил набор зафиксированных превышений, накопленных за календарный год. Все превышения были классифицированы человеком более чем по 80 основаниям.

Каждый конкретный случай превышения мог предоставить от 20 до 500 признаков для описания своего состояния. И это очень большой диапазон. Поскольку исследуемые алгоритмы требуют, чтобы число входных параметров было всегда фиксировано, требовалось привести исходное пространство признаков к единообразию. Эмпирически было определено, что оптимальным количеством будет 120 признаков. Чтобы добиться этого был использован алгоритмический подход к восстановлению и нормализации данных. Там где было много признаков, часть из них выбрасывалась, там, где не хватало – генерировались псевдо-признаки на основе имеющихся. Все это позволило описать характер превышения, не потеряв значимой информации.

После этой обработки был сформирован набор данных, из которого были исключены все выбросы и сильно зашумленные данные, чтобы эти данные стали пригодны для использования в обучении.

Сам процесс обучения требует много вычислительных ресурсов и занимает довольно длительное время. Самый лучший результат удалось достичь, обучая «случайный лес» в течение 48 часов на ЭВМ с восьмиядерным процессором Intel i7.

В результате были получены следующие результаты:

- 1) обнаружение аномалий: 45 %
- 2) наивный байесовский классификатор: 55 %
- 3) метод опорных векторов: 65 %
- 4) метод опорных векторов с многомерным распределением: 71 %
- 5) решающие деревья: 83 %
- б) случайный лес: 94 %

Первые четыре алгоритма выдавали много ошибок на «превышениях», которые по факту требовали к себе внимания, но классификатор определял их как безопасные. Чтобы исправить эту ситуацию были попытки повысить предельные пороги и поварьировать настройками, но это приводило к потере обобщающей способности – алгоритм не мог распознать требуемые ситуации, поэтому от этих алгоритмов пришлось отказаться.

Лучше показали себя «решающие деревья» и «случайный лес». Это алгоритмы одного семейства, которые обучались методом C4.5. За счет того что «случайный лес» использует несколько похожих деревьев для оценки, то его обобщающая способность оказалась выше, чем у одного «решающего дерева». У «случайного леса» уже практически не было ошибок типа «сокрытие важных превышений». В нашей реализации он использовал 5 связанных деревьев и практически не допускал ошибок на требуемых превышениях.

В настоящий момент данный подход к классификации типопредставительной ситуации «проверка датчика метана» успешно апробирован и применяется на угольных предприятиях Распадской угольной компании.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Саламатин А.С.², Кравченко А.Е.², Антипенко Л.А.¹, Раскин М.В.²,
Дворянчиков М.В.², Мышляев Л.П.², Лысенко Н.Л.²

¹ ООО «Сибнишуглеобогащение», г.Прокопьевск, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет», г.Новокузнецк, Россия

Проектирование обогатительных фабрик (ОФ) является довольно сложным и трудоемким процессом, в котором задействовано большое количество специалистов и экспертов [1]. В связи с этим появилась необходимость в создании специализированного программного обеспечения (ПО), которое автоматизировало бы часть функций и сделало бы более эффективным этот процесс.

Одним из примеров такого ПО является программа австралийских разработчиков «Limn», предназначенная для проектирования производственных процессов и объектов углеобогащения. Она встроена в книгу Microsoft Excel и позволяет быстро осуществлять моделирование ОФ, создавать наброски технологической схемы фабрики.

Базовая установка «Limn» позволяет пользователю:

- создать схему;
- соединить каждый технологический блок материальными потоками;
- описать потоки относительно состава, размера, температуры и т.д.;
- математически описать каждый блок процесса и его влияние на потоки, чтобы создать выходные потоки;
- выбрать сбалансированную схему через контролируемые итерации.

Не смотря на все достоинства австралийской программы, ее высокая стоимость и закрытый программный код делают актуальной задачу разработки собственного ПО для проектирования ОФ.

На первом этапе разработки со специалистами организации, проектирующей технологические процессы, были согласованы этапы проектирования ОФ, которые необходимо автоматизировать. После конкретизации этапов была создана структура программы (рисунок 1), определяющая основные функции автоматизации проектирования ОФ.

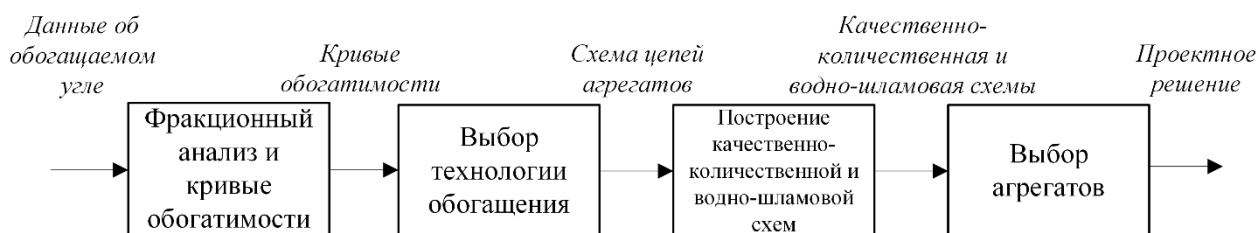


Рисунок 1 – Структура программы автоматизации проектирования ОФ

В блоке «Фракционный анализ и кривые обогатимости» происходит расчет таблицы фракционного анализа. Входными данными для этого блока служит информация по обогащаемому углю, поступающая из производственной лаборатории. Полученная таблица используется для построения кривых обогатимости. В блоке «Выбор технологии обогащения» происходит анализ кривых обогатимости и построение схемы цепей агрегатов, которая затем используется в блоке «Построение качественно-количественной и водно-шламовой схем» для создания качественно-количественно и водно-шламовой схем. В последнем блоке «Выбор агрегатов» происходит выбор конкретных агрегатов для реализации технологических операций.

На следующих этапах выполнялась программная реализация блоков рисунка 1. Для разработки была выбрана среда программирования Microsoft Visual Studio 2015, для хранения

данных – встраиваемая СУБД SQLite [2]. Особенностью данной СУБД является то, что для ее использования не требуется развертывание на сервере и, соответственно, самого сервера.

В качестве концепции разработки выбрана концепция Model-View-Controller (MVC, «Модель-Представление-Контроллер») [3]. Это схема разделения данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель, представление и контроллер – таким образом, что модификация каждого компонента может осуществляться независимо.

Архитектуру блока программы определяют:

- концепция разработки – MVC;
- технологии связи и работы с БД – Entity Framework 6 и LINQ to Entities.

В качестве модели представляется организация БД в виде объектов; контроллера – обработка запросов к БД; представления – отображение информации (таблиц и графиков) через формы программы.

При вызове программы появляется главное окно (рисунок 2). На нем отображаются таблицы «Задачи», «Расчеты», «Классы», график кривой обогатимости и элементы управления (кнопки, выпадающий список).

В таблице «Задачи» отображаются уже решенные задачи и добавляются новые. Каждая задача может иметь N число расчетов, которые отображаются в таблице «Расчеты» при выборе соответствующей задачи. При выборе расчета выводится график кривых обогатимости для соответствующего расчета.

В таблице «Классы» отображается таблица фракционного анализа по машинным классам, данных которой используются для расчета и построения кривых обогатимости.

Добавление нового расчета происходит через окно «Создание расчета», которое вызывается нажатием кнопки «Добавить» под таблицей «Расчеты». Изменение и удаление расчетов происходит при нажатии на кнопки «Изменить» и «Удалить», соответственно.

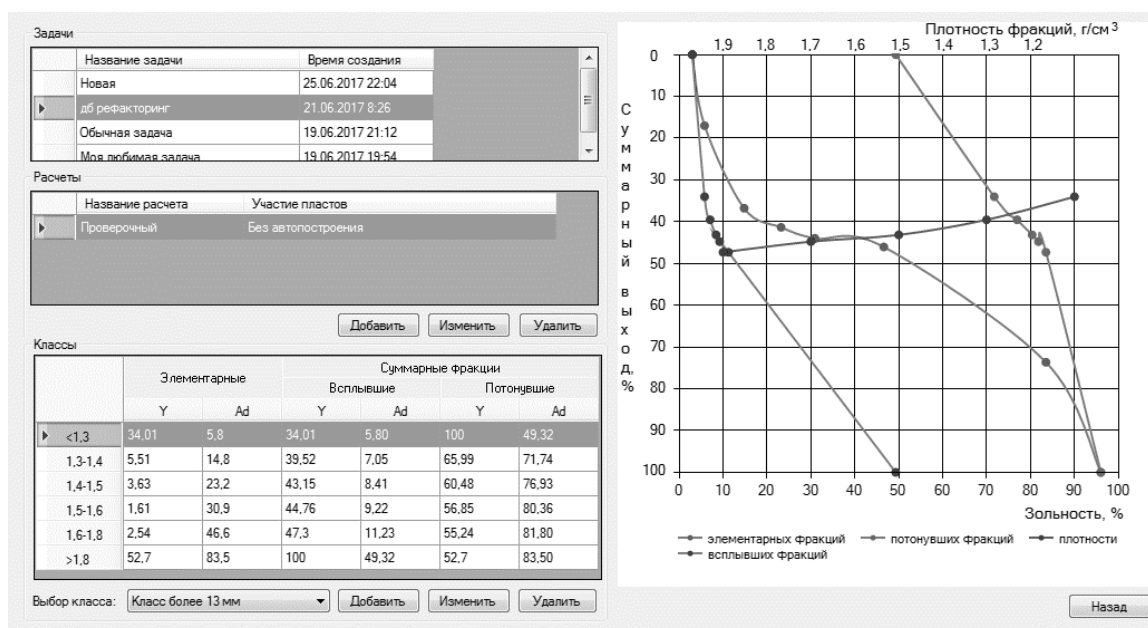


Рисунок 2 – Главное окно блока программы

При добавления нового расчета необходимо затем добавить таблицу классов углей, путем нажатия на кнопку «Добавить» под таблицей классов и заполнения таблице в окне «Создание класса расчета» (рисунок 3). После заполнения этой таблицы и нажатия кнопки «ОК» произойдет автоматический расчет кривых обогатимости для введенного класса. График кривых обогатимости отображается на главном окне (рисунок 2).

В таблице классов также возможно редактирование и удаление существующих классов углей.

	Элементарные		Суммарные фракции			
	Y	Ad	Всплывшие		Потонувшие	
			Y	Ad	Y	Ad
▶ <1,3			0	0	0	NaN
1,3-1,4			0	NaN	0	NaN
1,4-1,5			0	NaN	0	NaN
1,5-1,6			0	NaN	0	NaN
1,6-1,8			0	NaN	0	NaN
>1,8			0	NaN	0	0

Название класса:

Рисунок 3 – Окно «Таблица классов углей»

Данный блок предназначен для расчёта таблицы фракционного анализа углей с нуля, минуя обработку данных из производственной лаборатории.

Аналогичный подход использован при построении и остальных блоков программы автоматизации проектирования ОФ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №15-07-01972.

Библиографический список

1. Артюшин С.П. Проектирование углеобогачительных фабрик / С.П. Артюшин. – 2-е изд. – М: Недра, 1974. – 200 с.

2. С Sharp [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 85826356, сохранённая в 13:57 UTC 6 июня 2017 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2017. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=85826356>.

3. Model-View-Controller [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 85783223, сохранённая в 11:13 UTC 4 июня 2017 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2017. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=85783223>.

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ПРОСТОЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Койнов Р.С.¹, Ляховец М.В.², Добрынин А.С.¹

¹ *Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия*

² *ООО «Синерго Софт Системс», г. Новокузнецк, Россия*

Основные принципы хранения данных о простоях АСУ ПТЛ

Современные АСУ ПТЛ имеют широкие возможности по хранению различных параметров и состояний оборудования и системы в целом в разрезе времени. Так, обычно, в базе данных (БД) хранятся текущие и архивные состояния оборудования, счётчики работы, оперативный журнал событий и т.д. [1-3]. Под состояниями оборудования понимаются, например:

- «работа» – принимает значения «да» или «нет»;
- «скорость ленты» – скорость ленты конвейера (в м/с);
- «контрольный вес перенесенного материала в единицу времени»;
- «температура узлов и агрегатов»;
- «перегруз» – принимает значения «да» или «нет»;
- другие параметры, зависящие от конкретного производителя оборудования и автоматизированной системы управления.

В БД также хранятся так называемые «счётчики» работы оборудования, например:

- «счётчик работоспособности оборудования» – каждую единицу времени счётчик инкрементируется (увеличивается на единицу) и его значение записывается в БД;
- «счётчик общей массы прошедшего материала» – каждую единицу времени счётчик

увеличивается на массу материала, прошедшего в данную единицу времени, и его значение записывается в БД;

- «счётчик остановов оборудования» – каждую единицу времени счётчик записывает в БД количество остановов, произошедших с момента первого запуска;

- «счётчик пусков оборудования» – каждую единицу времени счётчик записывает в БД количество пусков, произошедших с момента первого запуска;

- другие счётчики, зависящие от конкретного производителя оборудования и автоматизированной системы управления.

В общем случае таблица для хранения состояний, параметров и счётчиков имеет структуру (для реляционной БД), представленную в таблице 1:

Таблица 1 – Структура таблицы БД АСУ ПТЛ для хранения значений состояний, параметров, счётчиков

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код строки	int	Уникальный идентификатор строки в таблице
Код из справочника параметров (состояний, счётчиков)	int	Код параметра (состояния, счётчика), берется из отдельной таблицы-справочника
Значение	double	Значение параметра (состояния, счётчика)
Дата-время	datetime	Дата-время на момент записи значения, обычно используется функция now().
Код конвейера (объекта)	int	Код конвейера (объекта), берется из отдельной таблицы-справочника конвейеров (объектов)
Комментарий	nvarchar(1000)	Дополнительный комментарий к записываемому значению

При возникновении аварийных ситуаций, событий останова или других событий АСУ ПТЛ делает записи в отдельной таблице, называемой «Оперативный журнал» с указанием даты-времени начала события, конвейера (объекта), вида события (простоя), описания и т.д. В оперативном журнале обычно не пишется дата-время окончания события. Под видами событий (простоев) понимается некий классификатор, обычно предлагаемый производителем поточно-транспортных линий.

В общем случае таблица для хранения оперативного журнала имеет структуру (для реляционной БД), представленную в таблице 2:

Таблица 2 – Структура таблицы БД АСУПТЛ для хранения оперативного журнала

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код строки	int	Уникальный идентификатор строки в таблице
Код вида события (простоя)	int	Код вида события (простоя), берется из отдельной таблицы-справочника
Дата-время	datetime	Дата-время начала события, обычно используется функция now()
Код конвейера (объекта)	int	Код конвейера (объекта), берется из отдельной таблицы-справочника конвейеров (объектов)
Комментарий	nvarchar(1000)	Дополнительный комментарий к событию (простоя)

Постановка задачи сбора данных по простоям

Дано: множество АСУПТЛ (различных производителей), имеющих различные СУБД

и БД различной структуры для хранения информации.

Требуется: разработать унифицированную БД единого хранилища информации, разработать обобщенные алгоритмы импорта данных из различных АСУПТЛ в единое хранилище (рисунок 1).

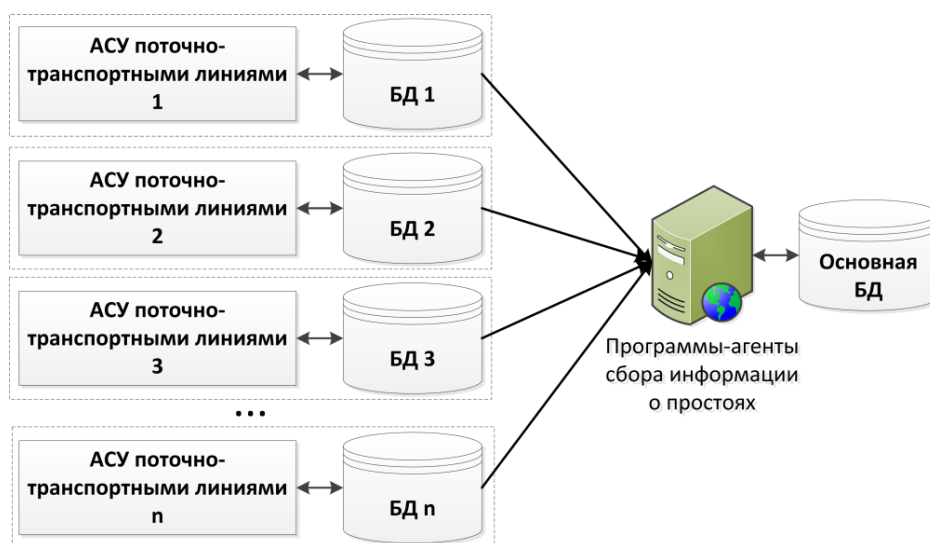


Рисунок 1 – Схема сбора информации о простоях из различных АСУПТЛ

Ограничения: структура БД должна находиться в третьей «нормальной» форме реляционной БД. СУБД должна отвечать требованиям безопасности, отказоустойчивости.

Практическая реализация поставленных задач

Для реализации поставленной задачи необходимо, в первую очередь, разработать БД, подходящую для сбора информации о простоях из любой АСУ ПТЛ.

Предлагается использовать СУБД MS SQL Server версии не ниже 2005. В дальнейшем структура таблиц будет описываться в терминах MS SQL Server.

Необходимо учесть, что в каждой АСУПТЛ имеются свои справочники видов событий (простоев) и при импорте данных в единое хранилище коды видов событий (простоев) каждой из АСУПТЛ должны быть преобразованы в унифицированные (обобщенные) коды.

Предлагаемая схема данных главной БД приведена на рисунке 2, структуры таблиц главной БД в таблицах 3-10.

Таблица 3 – Структура таблицы «Виды_простоев» главной БД

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_вида_простоев	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице
Название_вида_простоев	nvarchar(255), not null	
Код_вида_простоев_в_АСУПТЛ	int, not null	
Код_АСУПТЛ	FK, int, not null	
Код_обобщенного_вида_простоев	FK, int, not null	

Таблица 4 – Структура таблицы «Обобщенные_виды_простоев» главной БД.

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_обобщенного_вида_простоев	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице
Название_обобщенного_вида_простоев	nvarchar(255), not null	

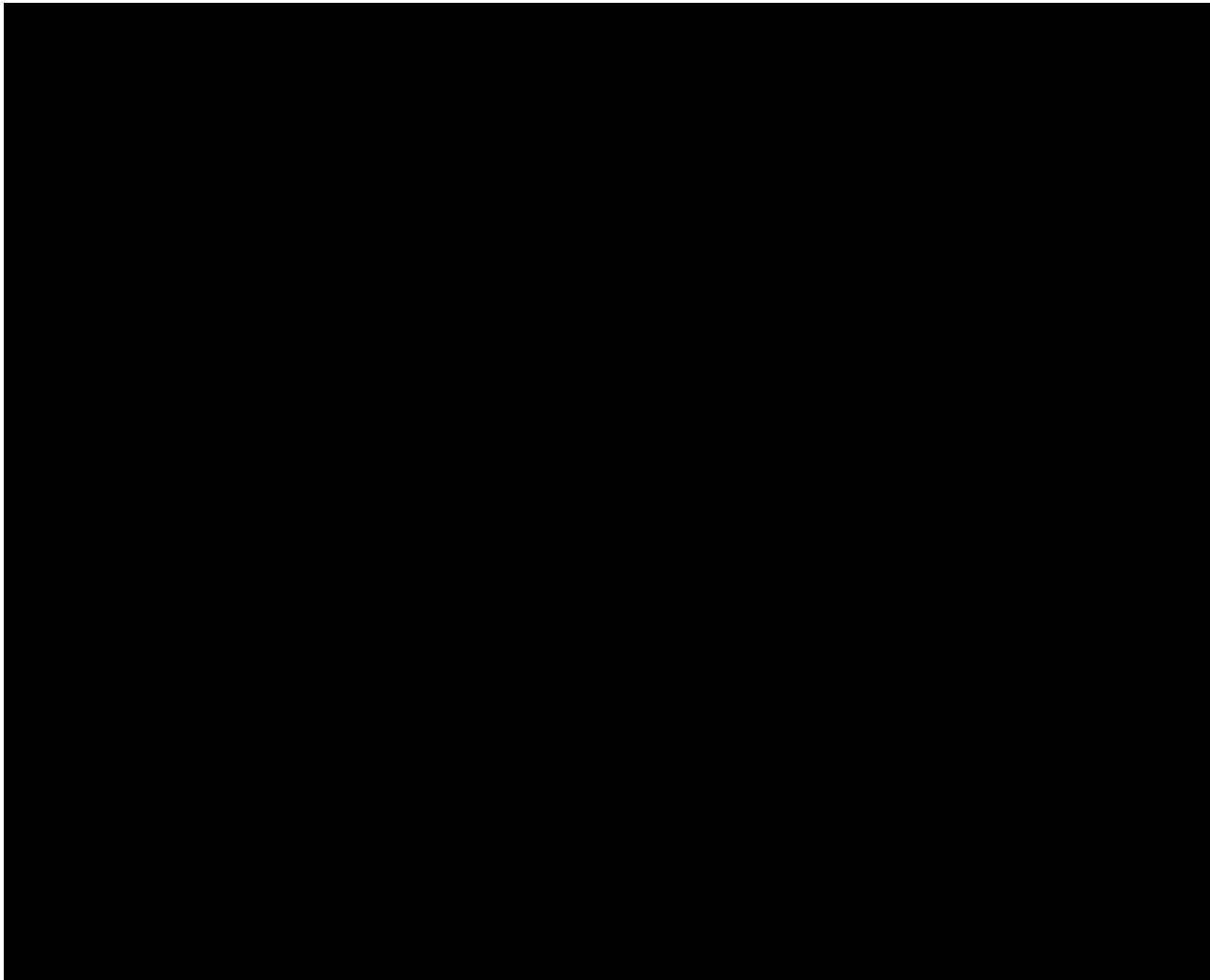


Рисунок 2 – Предлагаемая схема данных главной БД

Таблица 5 – Структура таблицы «Объекты_конвейеры» главной БД.

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_объекта_конвейера	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице
Название_объекта_конвейера	nvarchar(255), not null	
Код_объекта_конвейера_в_АСУПТЛ	int, not null	
Код_АСУПТЛ	FK, int, not null	

Таблица 6 – Структура таблицы «Объекты_конвейеры_по_поточным_линиям» главной БД.

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_объекта_конвейера_по_поточным_линиям	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице.
Код_объекта_конвейера	FK, int, not null	
Код_поточной_линии	FK, int, not null	
Порядок_объекта_конвейера_в_поточной_линии	smallint, not null	

Таблица 7 – Структура таблицы «Перечень_АСУПТЛ» главной БД

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_АСУПТЛ	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице
Название_АСУПТЛ	nvarchar(255), not null	
Строка_подключения	nvarchar(1000), not null	Строка подключения к СУБД конкретной АСУ ПТЛ

Таблица 8 – Структура таблицы «Поточные_линии» главной БД

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_поточной_линии	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице.
Название_поточной_линии	nvarchar(255), not null	
Код_АСУПТЛ	FK, int, not null	

Таблица 9 – Структура таблицы «Простои_объектов_конвейеров» главной БД

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_простоя_объекта_конвейера	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующий идентификатор строки в таблице
Дата_время_начала_простоя	datetime, not null	
Дата_время_окончания_простоя	datetime, null	
Описание_простоя	nvarchar(1000), null	
Код_обобщенного_вида_простоев	FK, int, not null	
Длительность_простоя_в_секундах	int, null	
Окончание_простоя_не_найдено	bit, null	Принимает значение True, если при текущем выполнении программы-агента окончание данного простоя не найдено
Код_записи_начала_простоя_в_АСУПТЛ	int, not null	
Код_записи_окончания_простоя_в_АСУПТЛ	int, null	
Код_объекта_конвейера	FK, int, not null	
Значение_записи_начала_простоя_в_АСУПТЛ	int, not null	Используется для значений-счётчиков в АСУ ПТЛ. Принимает начальное значение счётчика времени работы в простое.
Значения_записи_окончания_простоя_в_АСУПТЛ	int, null	Используется для значений-счётчиков в АСУ ПТЛ. Принимает конечное значение счётчика времени работы в простое

Таблица 10 – Структура таблицы «Простои_поточных_линий» главной БД

Наименование поля	Тип поля	Комментарий
Код_простоя_объекта_конвейера	PK, int, not null	Уникальный автоинкрементирующийся идентификатор строки в таблице
Дата_время_начала_простоя	datetime, not null	
Дата_время_окончания_простоя	datetime, null	
Описание_простоя	nvarchar(1000), null	
Код_обобщенного_вида_простоев	FK, int, not null	
Длительность_простоя_в_секундах	int, null	
Код_поточной_линии	FK, int, not null	

Алгоритм работы программы-агента может основываться на двух принципах: 1) на анализе состояний типа «работа» (принимающего значения «да» или «нет») оборудования в АСУ ПТЛ в разрезе времени; 2) на анализе счётчиков работоспособности оборудования в разрезе времени. С учётом того, что каждые следующие сутки в БД АСУ ПТЛ обычно создаются новые таблицы для записи новых значений состояний, параметров и счётчиков, алгоритмы упрощенно можно представить в следующем виде:

1. Производится подключение к главной БД согласно строке подключения, прописанной, например, в INI-файле настроек программы.

2. Производится чтение информации (настроек) об АСУ ПТЛ, код которой прописан, например, в INI-файле настроек, в главной БД.

3. Подключение к БД АСУ ПТЛ и проверка существования необходимых таблиц на дату импорта (берётся из настроек). Если таблицы отсутствуют, то работа программы завершается.

4. Производится синхронизация справочников объектов-конвейеров БД АСУ ПТЛ и главной БД. Новые объекты-конвейеры АСУ ПТЛ будут не связаны с объектами-конвейерами главной БД. Если присутствуют несвязанные объекты-конвейеры, программа завершит работу, предложив их связать.

5. В главной БД производится поиск кода последней записи, с которой будет начинаться поиск простоев в АСУ ПТЛ.

6. Для алгоритма, основанного на анализе состояний типа «работа» в разрезе времени:

Чтение событий остановки объектов-конвейеров из таблиц хранения значений состояний типа «работа» с сортировкой по названию объекта-конвейера, дате события. Простои ищутся путём поиска состояния «нет», что будет являться началом простоя и последующего состояния «да», что будет являться окончанием простоя. Время простоя вычисляется как простоя разница между последней и предыдущей датой-временем. Далее производится сохранение информации об этом простое в таблицу «Простои_объектов_конвейеров» в главной БД.

Для алгоритма, основанного на анализе счётчиков работоспособности оборудования в разрезе времени:

Чтение событий остановки объектов-конвейеров из таблиц хранения значений счётчиков работоспособности оборудования с сортировкой по названию объекта-конвейера, дате события. Счётчики сохраняются в БД АСУ ПТЛ каждую минуту. Простои ищутся путём сравнения текущего итерационного счётчика и предыдущего. Если «(дата-время текущего счётчика – дата-время предыдущего счётчика) – (значение текущего счётчика – значение предыдущего счётчика) > 1 минуты», то производится сохранение информации об этом простое в таблицу «Простои_объектов_конвейеров» в главной БД.

7. В процессе импорта данных синхронизируются справочники видов простоев БД АСУ ПТЛ и главной БД. Новые виды простоев АСУ ПТЛ будут не связаны с видами простоев главной БД, находящихся в таблице «Обобщенные_виды_простоев». Если присутствуют несвязанные виды простоев, программа завершит работу, предложив их связать.

8. Производится поиск всех поточных линий, в которые входит объект-конвейер в таблице «Объекты_конвейеры_по_поточным_линиям».

9. Производится добавление каждой найденной поточной линии границ времени простоя текущего объекта-конвейера в таблице «Простои_поточных_линий». Поскольку автоматика обычно сама выявляет закономерности в порядке конвейеров в поточных линиях, и пишет в БД АСУ ПТЛ как первопричину простоя, так и статусы по взаимоблокировке, то для учёта простоя поточных линий достаточно вычислять минимальное значение даты-времени начала простоя каждого из конвейеров и максимальное значение даты-времени окончания простоя каждого из конвейеров, входящих в поточную линию и простой. Эти минимальные и максимальные значения и являются началом и окончанием простоя поточной линии. Т.е. при добавлении нового простоя конвейера, ищется в какие поточные линии он входит, далее ищутся простои данных поточных линий, в которые может входить слева и (или) справа простой конвейера и в случае вхождения простоя поточных линий расширяются в границах.

10. К дате импорта добавляются сутки, переход на шаг 3.

Опытное тестирование алгоритмов показало, что метод, основанный на анализе счётчиков работоспособности оборудования в разрезе времени, более надежен метода, основанного на анализе состояний типа «работа» оборудования в разрезе времени. Связано это с тем, что зачастую простои сопровождаются отключением электроэнергии, потерей связи с контроллером (или БД АСУ ПТЛ), что ведет к невозможности записать в БД информацию о состоянии типа «работа» со значениями «Да» или «Нет» сиюминутно, важная информация теряется. Счётчики же пишут свои значения каждую минуту и при появлении электроэнергии или связи с контроллером (или БД АСУ ПТЛ) сразу пишут актуальную информацию в БД АСУ ПТЛ.

Заключение

В статье проанализирована типовая структура АСУ ПТЛ. Поставлена задача разработки единой системы учёта простоев конвейеров и поточных линий различных производителей, имеющих в рамках своих АСУ ПТЛ различные СУБД и БД различной структуры. В рамках решения задачи предложен вариант структурной схемы единой системы сбора информации о простоях. Выделены сущности, характеризующие простои поточно-транспортных линий, и их атрибуты; разработана схема данных, отражающая отношения между сущностями. Разработаны алгоритмы работы программного агента для двух случаев: 1) при анализе логических состояний типа «работа» оборудования в АСУ ПТЛ; 2) при анализе счётчиков работоспособности оборудования.

Библиографический список

1. Применение автоматизированной системы управления конвейерами и конвейерными линиями АСУК-ДЭП на предприятиях угольной промышленности [Электронный ресурс] / С. П. Медведев, А. Н. Выгривач, Ю. М. Перовский, Д. В. Третьяк // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2015. – № 7-8. – С. 28–30. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24332400>.

2. Уваров А. В. Автоматизированная система управления конвейерами и конвейерными линиями АСУК-ДЭП [Электронный ресурс] / А. В. Уваров // Записки горного института. – 2008. – Т. 177. – С. 36–39. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13417267>.

3. Черенков Н. С. Модернизация и оптимизация автоматизированных конвейеров в горной промышленности [Электронный ресурс] / Н. С. Черенков, А. С. Семенов // Международный студенческий научный вестник. – Пенза: Информационно-технический отдел Академии Естествознания, 2015. – № 3-4. – С. 417–419. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23800804>.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ГРАФИКА ВНУТРИЗАВОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Луговик А.И., Куделин С.П.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Основными особенностями металлургического предприятия в Российской Федерации являются большая территория предприятия и большие объемы производства. Эти факторы ведут к большим объемам перевозок как внутри предприятия, так и за его пределы. Большой объем поставок делает целесообразным применение ж/д перевозок. Например, на Магнитогорском Металлургическом комбинате эксплуатируется более 18 станций.

В связи с большим объемом ж/д перевозок производятся исследовательские работы по моделированию, исследованию и модернизации внутреннего ж/д хозяйства [1]. Идет процесс автоматизации станций и разработки современного программного обеспечения, в частности «Автоматизированная система диспетчерского контроля»[2]. Эта система позволяет отслеживать в реальном времени движение составов, занятость перегонов и другие характеристики и осуществлять построение контактного графика фактического движения поездов, по которому можно осуществлять контроль текущего состояния движения поездов и анализ прошлых периодов.

Основное количество работ [1,2] посвящается разработке систем диспетчеризации управления железнодорожным транспортом, что приводит к смещению акцента в сторону обеспечения оперативности реагирования на готовность подвижного состава к отправлению.

Разработка контактного графика опирается на правила технической эксплуатации ж/д транспорта, инструкции дистанции пути [3,4] и других нормативных актов.

При разработке контактного графика рассчитываются параметры[5]:

- масса подвижного состава;
- загруженность разгрузочного фронта;
- пропускная способность перегона.

Планирование контактного графика должно учитывать факторы[6]:

- продолжительность операций по погрузке и разгрузке подвижного состава;
- время ремонтных окон на ж/д путях;
- план формирования внутризаводских поездов и маневровых передач;
- нормативный график обязательных перевозок (шлак, чугун, сталь, слябы).

Вопрос планирования и выявления зависимости построения контактного графика от планов производства цехов в рассмотренной выше литературе не ставится в связи с высокой сложностью поставленной задачи, в которой «Расписание» (контактный график) представляется в виде функции:

$$F(P_{отгр\ 1}, \dots, P_{отгр\ n}, t_p\ 1, \dots, t_p\ mn, P_{обяз.пер\ 1}, \dots, P_{обяз.пер\ l}),$$

где $P_{отгр}$ – план отгрузки цеха;
 t_p – время ремонта ж/д полотна;
 $P_{обяз.пер}$ – план обязательных перевозок.

Для разработки программы была выбрана часть путевого развития металлургического предприятия (рисунок 1). Характерной особенностью путевого развития является однопутное развитие, в значительной степени сдерживающее развитие перевозок ж/д транспортом на предприятии и требующее внедрение для оперативного реагирования общей системы диспетчеризации, а для будущих периодов правильного планирования цехов с учетом особенностей ж/д перевозок внутри предприятия.

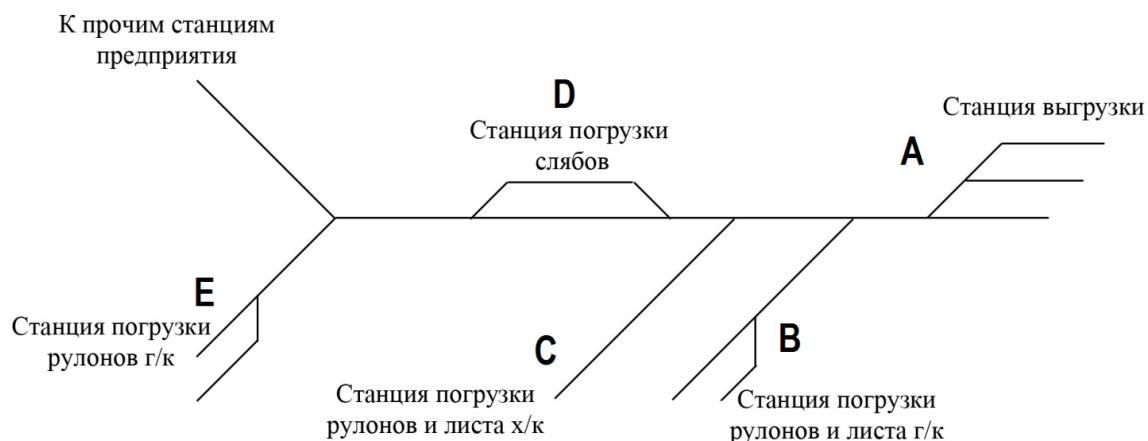


Рисунок 1 - Часть путевого развития металлургического предприятия

Разработана автоматизированная информационная система планового построения контактного графика движения поезда, опирающегося на план производства листопрокатных цехов. Проектирование ведется на основании готовых сценариев: межцеховая доставка подката, отгрузка готовой продукции и общезаводские обязательные перевозки. Время погрузки и разгрузки учитываются константами. Приложение разработано на языке программирования С#[7].

Заключение.

Разработанная автоматизированная система функционирует в тестовом режиме. Применение системы для планирования контактного графика осложнено большим количеством случайных факторов, погрузки и разгрузки, а также необходимостью разработки планов производства цехов, обеспечивающих формирование поездов с целью минимизации количества поездов подвижного состава.

Библиографический список

1. Е.А. Максимова, И.А. Чернобровин, А.Н. Сентюрин. Этапное усиление пропускной способности железнодорожного пути необщего пользования ОАО "ММК". Сборник материалов межрегиональной 68-научно-технической конференции. «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования»: Т.1. Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2010. С. 183 - 185.
2. А. В. Антонов, Е. В. Полежаев, А. А. Сироткин. Развитие автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта ОАО "ММК". Современные проблемы транспортного комплекса России. - Магнитогорск : МГТУ , 2012. - Вып. 2. - С. 7-10.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. – М.: Омега Л, 2014. - 448 с.
4. Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах Российской Федерации. – М: Моркнига, 2012. - 240 с.
5. Метс А.Ф., Штец К.А., Бельгольский Б.П. и др. Организация и планирование предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1986. - 560 с.
6. Акулиничев В.М.. «Генеральный план и транспорт промышленных предприятий». М. Стройиздат, 1990. 302 с.
7. Фленов М. Библия С#. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 560с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПОЛНЕНИЯ СКЛАДА ЛИСТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РИТМИЧНОСТИ ОТГРУЗКИ ПРОКАТА

Радченко М.О., Куделин С.П.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Традиционно расчетные работы по правильному размещению продукции на складах предприятия производятся при организации складских помещений [1,2]. Правила размещения продукции на складах определяются в соответствии с нормами и правилами, изложенными в ГОСТ 7566-94 [3]. Также оптимизация склада является реакцией на различные сбои, возникающие при отгрузке продукции со склада, и, как правило, протекает в виде НИР по улучшению работы склада.

Современные информационные технологии позволяют контролировать и диагностировать как текущее состояние склада, так и тенденции развития ситуации.

На склад готовой продукции рулоны г/к поступают зависимости для толстой полосы (свыше 4 мм) несмотанные и для тонкой полосы (менее 4 мм), смотанные в рулон, обвязанные и взвешенные платформенными весами, маркированные данными[4] :

- номер рулона и общее количество рулонов в плавко-партии;
- номер плавко-партии;
- марка стали;
- размер полосы (толщина, ширина);
- направление отгрузки;
- масса рулона.

Схема склада рулонов г/к приведена на рисунке 1. Склад содержит упаковочные площадки изоляторы незавершенного производства и брака, площадки отгрузки по разным направлениям: внешним потребителям с выделением экспортной отгрузки, а также внутри комбината.

Складирование горячекатаных рулонов производится на территории упаковочных площадок цеха. Рулоны горячекатаные располагаются в вертикальном положении в один ряд.

После принятия металла контролер УТК выдает бригадире отгрузки паспорт на взятую в работу плавко-партию. Плавко-партия комплектно выставляется на упаковочные стенды, где производится все необходимые действия, в том числе производится отбраковка продукции, несоответствующей технической документации и заказу продукцию отсортировывает.

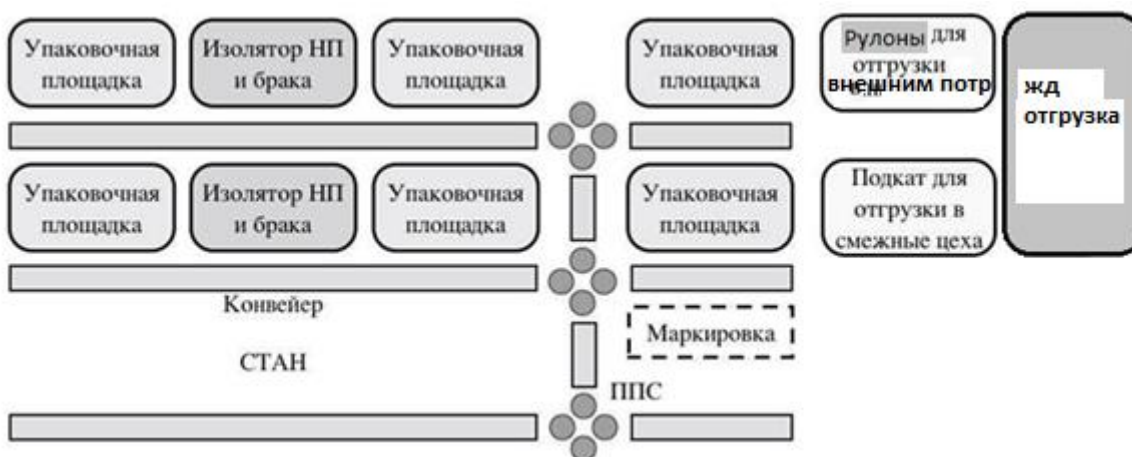


Рисунок 1 – Склад горячекатаных рулонов листопрокатного производства

После всех действий контролером УТК распечатывается ярлык партии, в котором указаны номер плавко-партии, номер заказа, направление, марка, размер, масса каждого рулона до и после обработки, количество обреза, дополнительная маркировка. Контролер так же проверяет вес рулонов после обработки на соответствие приказу. После принятия металла на складе утверждается формирующая карточка, после этого складировается на специальных площадках.

Предлагается размещать рулоны на основе оперативного плана, определяемого в соответствии с целевой функцией, определяющей номер складского места, ряд и место в ряду начала расположения заказа.

Для ускорения работы и формирования плана размещения рулонов используется план прокатки на листопрокатном стане, предоставленный в виде сущности «заказы на стане» с указанием направления, сроков отгрузки с выделением экспортного потока. Также для отражения текущей ситуации на стане в разрабатываемом приложении предусмотрено редактирование данных «Заказы на стане».

Планирование осуществляется на основании критериев:

- 1) рулоны одного заказа должны находиться в максимальной близости друг от друга;
- 2) подкат в цеха комбината складировается у первого пути;
- 3) заказы внешним потребителям на рулон г/к складироваются у второго пути;
- 4) заказы на экспорт складироваются отдельно от заказов по России. не допускается складирования рулонов по экспортным заказам во втором ряду;
- 5) рулоны необходимо располагать максимально близко к пути отгрузки;
- 6) склад должен предусматривать одновременную погрузку не менее пяти вагонов на каждом пути;
- 7) при неподаче состава на складе должно быть предусмотрено размещение дополнительных рулонов с обеспечением быстрого доступа к ранее упакованным рулонам.

Для построения плана целесообразно использовать решение задачи о ранце [5].

При поиске оптимального расположения рулонов оптимизируем множество плавко-партий по конкретным заказам(q_i) и получаем множество предметов для размещения:

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\} \quad (1)$$

Стоимость p_i определяем исходя из критериев планирования, а вес w_i рассчитываем исходя из количества рулонов плавко-партии по конкретному заказу. Вместимость же самого склада (W), рассчитываем исходя из максимального количества рулонов с фиксированным местоположением на складе.

Для проведения планирования размещения рулонов на складе, разработано приложение на языке программирования C#[6]. В разработанной автоматизированной информационной системе планирование размещения рулонов производится полным перебором, в результате которого на форме (рисунок 2) строится план склада с указанием расположения рулонов по соответствующим плавко-партиям конкретных заказов.



Рисунок 2 - План склада, рассчитанный в системе

Заключение

На кафедре ТИМ УРФУ разработана автоматизированная информационная система планирования размещения рулонов. Своевременное определение проблем складов, планирование размещения продукции на складе позволяет не только показывать план расположения рулонов на складе, но и диагностировать возникающие проблемы.

Библиографический список

1. Памбухчиянц В. К. Организация, технология и проектирование торговых предприятий – М.: ИВЦ «Маркетинг», 1999.-320 с.,
2. Андреева О.И. Задачи складского хозяйства и организация технологического процесса работы складов. Учебное пособие. – М., Московский ордена трудового красного знамени институт народного хозяйства имени Г.В.Плеханова, 1975. - 60 с.
3. ГОСТ 7566-94. Металлопродукция. Приемка, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. – М.: Изд-во стандартов, 2003. - 28 с.
4. Прокатка полос на стане 2000 горячей прокатки ЛПЦ-10 ОАО «ММК»: технологическая инструкция ТИ 101-ГЛ.10-374-90. - Магнитогорск, 1990. - 221 с.
5. Окулов, С. М. Программирование в алгоритмах. – М.: БИНОМ., 2004. - 341 с
6. Фленов М. Библия С#. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 560с.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОГО НАСТРОЙЩИКА НА МНОГОЗОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПЕЧАХ

Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Фомин А.В.

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета "МИСиС",
г. Старый Оскол, Россия*

На современном этапе развития автоматизированных систем и устройств управления имеет место активная модернизация средств автоматизации и измерений. Также активно развивается и микроконтроллерная техника, повышается её надежность, увеличиваются вычислительные мощности. Однако данное развитие нивелируется использованием достаточно давно применяемых алгоритмов управления – более 90% промышленных ОУ функционируют под управлением классического ПИД-алгоритма [1, 2]. Регулятор, реализующий данный алгоритм, является линейным, в то время как реальные объекты управления, такие как широко распространенные в промышленности нагревательные печи, в большинстве случаев, существенно нелинейны [3]. Аппроксимация нелинейной функции (нелинейности) объекта управления линейной функцией ПИД-алгоритма приводит к снижению качества регулирования, к перерасходу энергоресурсов, и, в отдельных случаях, браку продукции. Одним из способов решения данной проблемы является использование классических оптимальных [4, 5] и адаптивных [6, 7] систем управления. Однако их применение сопряжено с рядом трудностей. Для эффективного использования таких систем необходимо наличие актуальной математической модели объекта управления, что требует проведения сложной процедуры идентификации [8]. При этом в реалиях непрерывного производства возможности для проведения идентификации рассматриваемого класса тепловых объектов ограничены ситуациями, при которых нагревательная печь незагружена или простаивает, так как зачастую идентификация требует внесения тестового управляющего воздействия, эффект от которого может, в отдельных ситуациях, повлечь брак термообрабатываемой продукции.. Другим вариантом решения данной проблемы является уход от жесткой привязки к модели объекта управления. Такую возможность предоставляют интеллектуальные адаптивные методы управления, позволяющие в некоторой степени моделировать поведение человека, в частности, экспертные системы [9], нечеткая логика [10, 11], нейронные сети [12-14]. Интерес к использованию этих

методов определяется тем фактом, что в реалиях производства настройка регулятора инженером АСУ ТП осуществляется на основе его знаний, опыта, способности предвидеть развитие текущей ситуации без использования им модели ОУ.

Исходя из вышеперечисленных особенностей интеллектуальных методов, перспективным представляется направление построения систем автоматической оперативной настройки параметров ПИ-регуляторов (поскольку именно этот закон используется в подавляющем большинстве случаев для тепловых ОУ) на основе интегрирования в единую систему аппарата нейронных сетей (НС) и экспертных систем (ЭС). Данное решение позволит, используя ЭС, учитывать специфику объекта управления (такую как невозможность принудительного охлаждения печи), а использование аппарата НС позволит системе оперативно обучаться во время работы.

Подобной интеллектуальной системой является нейросетевой настройщик параметров ПИ-регуляторов [15]. Данная разработка позволила добиться повышения энергоэффективности работы печи в режимах переходных процессов и отработки возмущений. Практическая реализация также позволила произвести натуральный эксперимент на лабораторной муфельной печи, где нейронастройщик подтвердил свою эффективность.

Однако, промышленные нагревательные печи являются многозонными, причем температуры в соседних зонах различаются. При этом учет влияния зоны на зону не ведется по причине высокой математической сложности получаемых моделей межзонного теплообмена, сложности их алгоритмической реализации. При различных температурах в зонах печи, зона, имеющая большую температуру, влияет на зону с меньшей температурой, отдавая излишнее тепло. Для зоны с меньшей температурой влияние соседней зоны будет эквивалентно положительному возмущающему воздействию на ОУ, для зоны с большей температурой – эквивалентно отрицательному возмущению. Так как в регуляторах, управляющих отдельной зоной, не реализован метод адаптации, то отсутствие учета теплового влияния соседних зон и вызываемых ими возмущений, приводит к ухудшению, как качества переходных процессов, так и работы системы в установившемся режиме. Особенно явно данное влияние заметно на печах, на которых реализован импульсный режим управления, а не непрерывный (например, печи отжига). Для минимизации данных негативных процессов предлагается применить нейросетевой настройщик параметров ПИ-регуляторов.

Нейросетевой настройщик представляет собой надстройку над классическим контуром управления (рисунок 1). Данное решение существенно облегчает потенциальное внедрение, так как не требует дополнительных аппаратных средств, а встраивается в уже действующий контур управления.

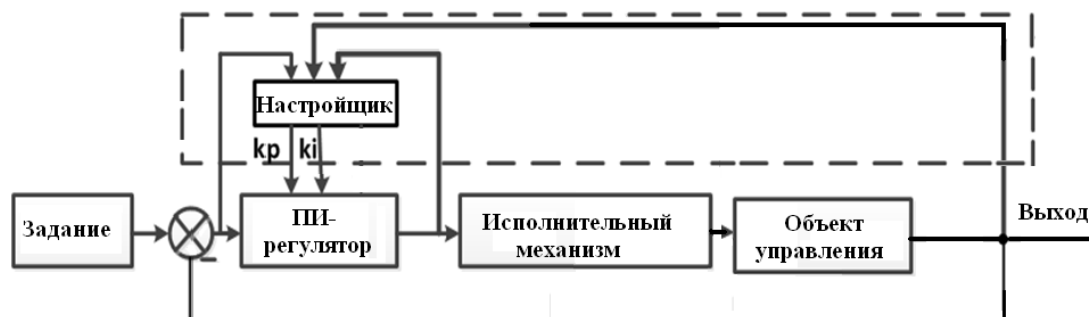


Рисунок 1 - Схема управления с нейронастройщиком

Нейросетевой настройщик состоит из двух частей: модуля нейронной сети и базы правил [15]. Задачей базы правил является определение моментов, в которые необходимо производить настройку конкретных параметров регулятора. По сути, база правил является формализованным эмпирическим опытом инженера АСУ ТП, производящего настройку регулятора. Выходом базы правил являются скорости обучения нейронов, ответственных за конкретные параметры каналов регулятора. Задачей нейронной сети является численное изменение

параметров регулятора с учетом динамики и изменения параметров объекта управления. Метод выбора структуры и параметров нейронной сети подробно описан в [16].

Ввиду нелинейности тепловых объектов управления и существенной разницы переходных процессов на режимах остывания, нагрева и компенсации возмущающих воздействий, в нейросетевом настройщике реализовано три набора весовых коэффициентов для нейронной сети для каждого из режимов. Данное решение позволяет получить три различных набора коэффициентов регулятора, учитывающих особенности каждого из режимов [17].

Для проведения эксперимента была построена схема моделирования, показанная на рис.1. Модель представляет собой две зоны печи, описываемые двумя апериодическими звеньями первого порядка и звеном запаздывания. Влияние зоны на зону реализовано с помощью сравнительного блока, высчитывающего разность температур между зонами, и умножения полученной разницы на коэффициент K_z . Полученный сигнал подается на зону с меньшей температурой в виде положительного возмущающего воздействия. В блоке NS реализован нейросетевой настройщик, производящий изменение коэффициентов ПИ-регулятора, выходами которого являются новые K_p и K_i регулятора. Нижняя часть рисунка идентична верхней, за исключением того, что в нем не происходит настройка параметров регулятора. Блок из двух Switch и интеграторов служит для сравнения суммарных управляющих воздействий системы с настройкой и без настройки в моменты действия возмущений, вызванных различием температур между зонами.

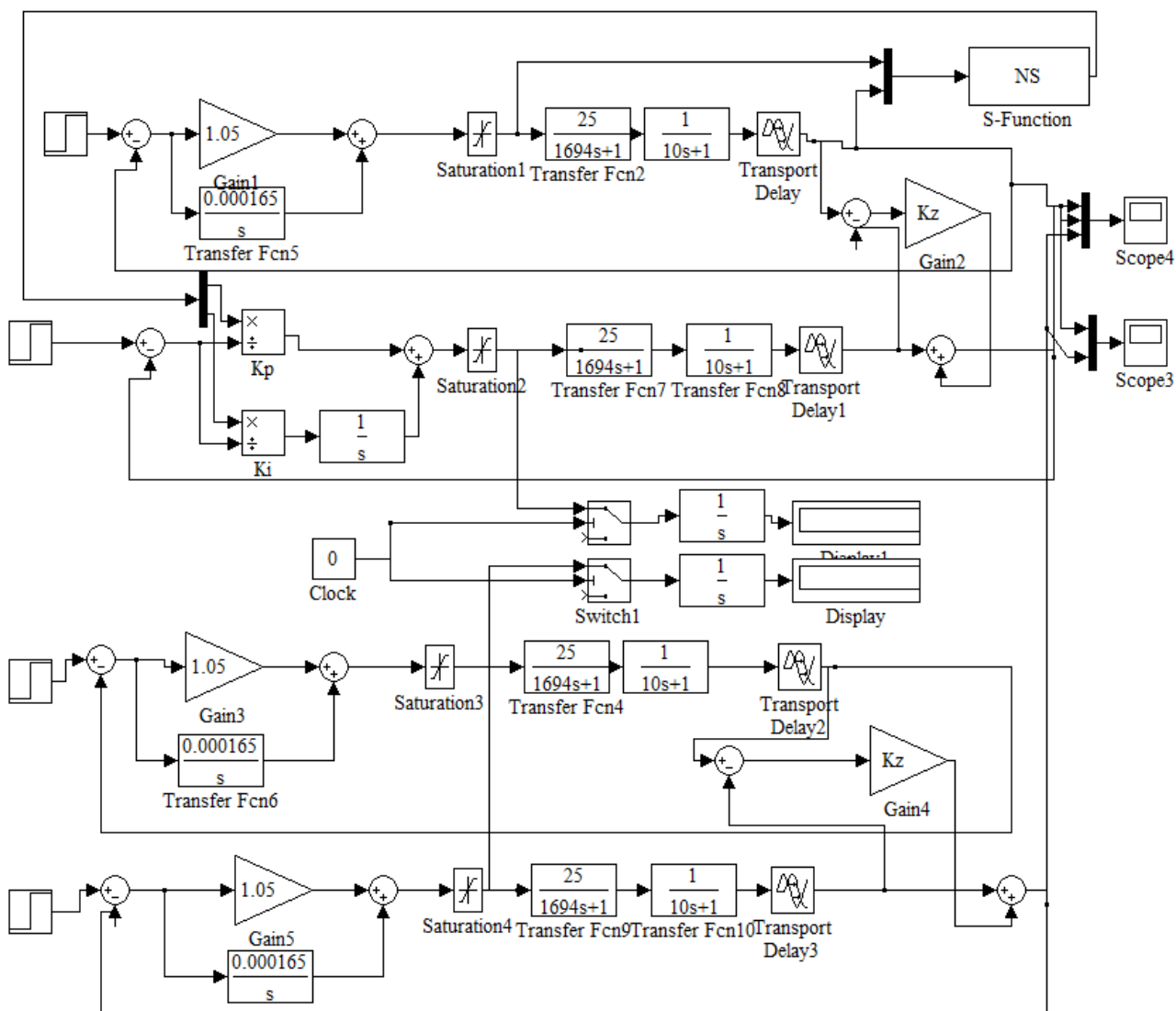


Рисунок 2 - Схема моделирования

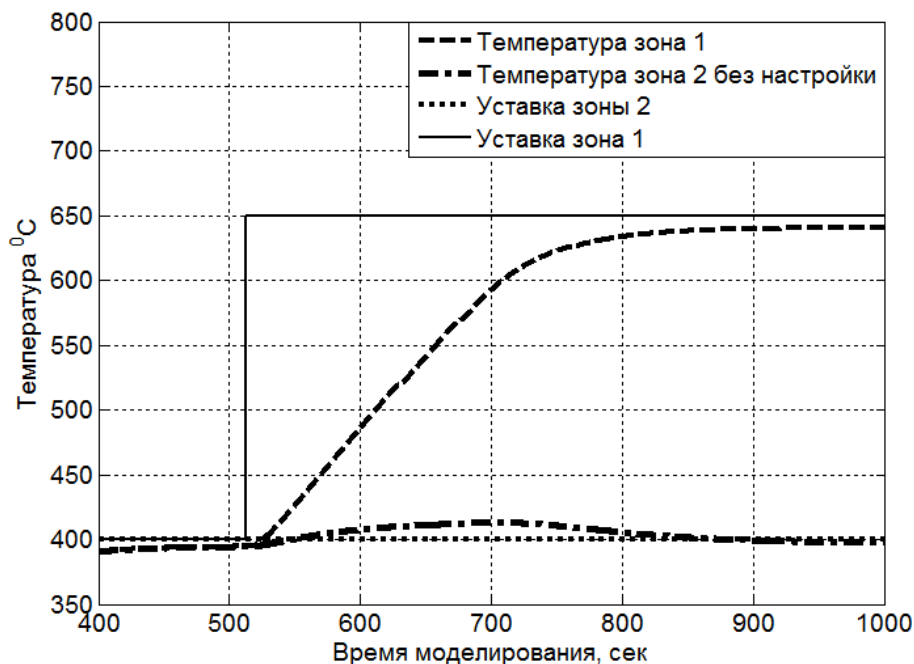


Рисунок 3 - Температурный режим двух зон

Моделирование проводилось при следующем графике заданий: на первом этапе обе зоны имели одинаковую температурную уставку 400 °С. После окончания переходных процессов в обеих зонах, производилось увеличение уставки на первой зоне печи до 600 °С, при этом уставка для второй зоны оставалось неизменной. Задача моделирования – обосновать целесообразность адаптации регулятора при межзонном влиянии в многозонной печи.

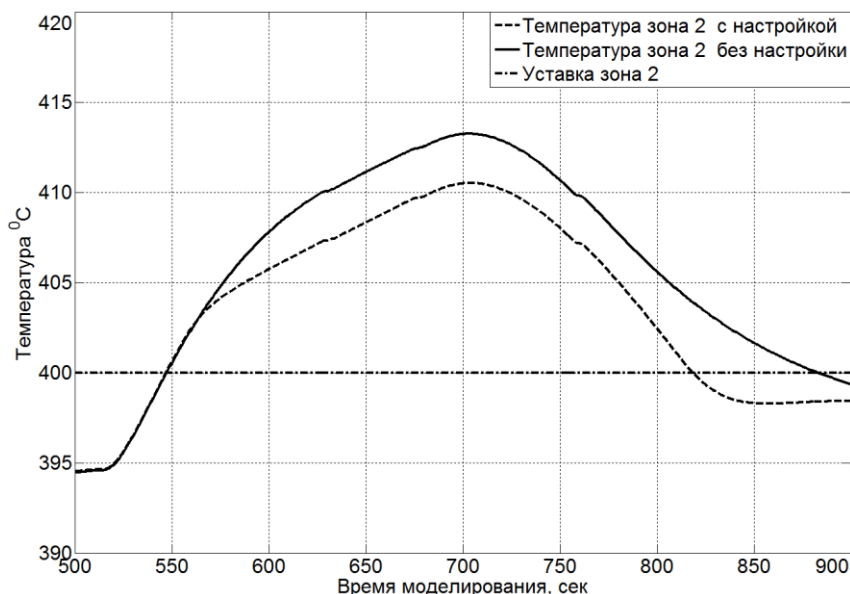


Рисунок 4 - Компенсация возмущения в зоне №2

В результате получены следующие графики – рисунки 3 и 4. Как видно из графиков, переход зоны № 1 на новую уставку влечет за собой повышение температуры в зоне № 2, что в целом схоже с реальным теплообменом в многозонной печи. При этом, применение нейросетевого настройщика на зоне № 1 позволяет учесть данное возмущение, что приведет к меньшей амплитуде выброса температуры и к снижению энергопотребления на данном участке. В таблице 1 приведена сравнительная характеристика функционирования системы на данном участке.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика двух режимов

	С применением нейросетевого настройщика	Без перенастройки регулятора	%
Суммарное управляющее воздействие за время отра- ботки возмущения, ед.	1266	1442	12

В результате моделирования можно сделать вывод о том, что учет межзонного влияния при использовании нейросетевого настройщика позволит сэкономить энергоресурс за счет использования излишков тепла в виде положительного возмущающего воздействия (теплового потока) от более высокотемпературной зоны.

Исследование проведено при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации, договор № 14.575.21.0133 (RFMEFI57517X0133).

Библиографический список

1. Vilanova R., Visioli A. PID Control in the Third Millennium. Lessons Learned and New Approaches. – London: Springer, 2012. – 595 p.
2. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID Control. – Research Triangle Park: The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. – 461 p.
3. Mimura K., Shiotsuki T. Experimental study of PID auto-tuning for unsymmetrical processes. Proceedings of ICCAS-SICE 2009. – IEEE, 2009. – P. 2967-2971.
4. Салихов З.Г., Арунянц Г.Г., Рутковский А.Л. Системы оптимального управления сложными технологическими объектами. – М.: Теплоэнергетик, 2004. – 496 с.
5. Краснова С.А., Мысик Н.С. Каскадный синтез наблюдателя состояния с нелинейными корректирующими воздействиями // АИТ. 2014. № 2. С. 106-128. .
6. Astrom K.J., Wittenmark B. Adaptive Control. – New York: Dower Publications, 2008. – 573 p.
7. Колюбин С.А., Ефимов Д.В., Никифоров В.О., Бобцов А.А. Двухканальное адаптивное гибридное управление соотношением воздух-топливо и крутящим моментом автомобильных двигателей // Автоматика и телемеханика. – 2012. – №. 11. – С. 42-59.
8. Салыга В.И., Карабутов Н.Н. Идентификация и управление процессами в черной металлургии. М.: Металлургия, 1986. 192 с.
9. Рыбин В.М., Самхарадзе Т.Г., Щербаков Н.С. Применение динамических интегрированных экспертных систем для интеллектуального управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. – №4. – С.29-32.
10. Кокорев С.В., Букреев В.Г. Система нечеткого регулирования температуры нагревательных установок // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308. – №6. – С.146-149.
11. Кудинов Ю.И., Кудинов И.Ю., Келина А.Ю. Адаптивный нечеткий регулятор температуры отжига стали в электрической колпаковой печи // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – №9. – С. 37-40.
12. Лубенцова Е.В., Володин А.А., Лубенцов В.Ф. Нейро-нечеткая система управления температурным режимом ферментационного процесса // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 3. – С. 55-62.
13. Omatu S., Khalid M., Yusof R. Neuro–Control and its Applications. – London: Springer, 1995. – 255 p.
14. Ferreira P.M., Faria E.A., Ruano A.E. Neural network models in greenhouse air temperature prediction // Neurocomputing. – 2002. –Vol. 43. –No.1. – P. 51-75.
15. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. О применении нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в различных режимах работы // Управление большими системами. – 2015. – Вып.56. – С.143-175.
16. Еременко Ю.И., Глущенко А.И. О разработке метода выбора структуры нейрон-

ной сети для решения задачи адаптации параметров линейных регуляторов // Управление большими системами. – 2016. – Вып. 62. – С. 75-123.

17. Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Фомин А.В. Применение нейросетевого настройщика параметров ПИ-регулятора нагревательной печи для отработки возмущающих воздействий различных типов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – №2 (64). – С. 86-91.

ПРИМЕНЕНИЕ IoT-МОДУЛЕЙ И ОДНОКРИСТАЛЬНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

Андрианов О.Н., Воронцова А.Д.

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

Большинство систем отопления на природном газе или электрических нагревательных устройствах используют двухпозиционный закон регулирования по единственному параметру – температуре носителя на выходе контура отопления или нагревательного котла. В подобных системах достижение требуемой температуры в помещении осуществляется итерационной настройкой задания в связи с не учитываемыми возмущающими воздействиями (открытие и закрытие дверей/окон, суточные и погодные колебания температуры на улице и т.д.). Другим недостатком являются длительные промежутки перерегулирования в обе стороны, создающие дискомфорт в помещении.

Предлагаемая система управления ставит целью увеличение стабильности заданной температуры за счёт добавления каналов измерения, применения непрерывного закона регулирования, повышение удобства оперативного (в т.ч. удаленного) изменения настроек и отображения текущих параметров, легкую расширяемость, уменьшение времени монтажа и пуско-наладочных работ.

В настоящее время активно развивающаяся технология интернет вещей (IoT – Internet of Things) позволяет заменить дорогостоящие промышленные контроллеры на уже широко распространенные менее дорогие, экономичные, компактные и легко программируемые обычным пользователем модули. Использование беспроводной сети Wi-Fi позволяет произвести монтаж модулей с наименьшими трудозатратами за счет минимальной трассировки физических соединительных линий. Существующие сервера сбора данных (например, thingspeak.com, narodmon.ru и т.п.) предоставляют весьма простой, удобный и вполне достаточный сервис для отображения текущих показателей и хранения данных.



Рисунок 1 – Скриншот интерфейса с динамикой измеренного сигнала

На рисунке 1 приведен пример отображения динамического ряда измеренных значений комнатной температуры, с помощью бесплатно предоставляемого сервиса сбора, хране-

ния и отображения данных на сервере thingspeak.com. Измерения производились цифровым термометром DS18B20 [1] (производителя Dallas Semiconductor), подключенным к Wi-Fi модулю ESP12F [2], который передает показания на сервер через Wi-Fi роутер с Интернет-соединением. На графике четко просматриваются периоды включения-выключения ТЭНов, а также подъем температуры в солнечный промежуток времени.

Подобные простые, надежные и недорогие аппаратно-программные решения и используются с надлежащей доработкой в предлагаемой системе, которая может быть расширена под разные варианты реализации способов отопления с несколькими контурами и использования бесперебойного питания. На рисунке 2 приведена техническая структура разрабатываемой системы управления отоплением. В качестве управляющего контроллера предлагается Arduino UNO [3].

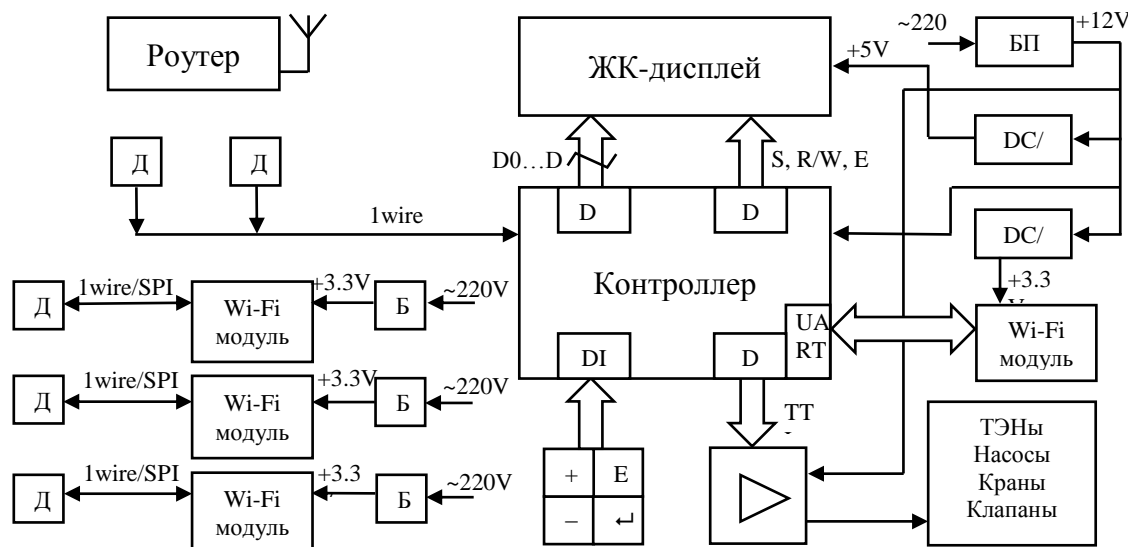


Рисунок 2 – Техническая структура управляющей подсистемы

Измеренные сигналы температуры разных точек объекта (вход и выход котла, "подача" и "обратка" контуров, улица, комнаты, и др.) поступают в управляющий контроллер либо по беспроводной сети с помощью соответствующих модулей в единой локальной сети, либо (в непосредственной близости) по проводному подключению датчиков.

Подразумеваются следующие способы изменения настроек и задания: с кнопок на контроллере с ЖК-дисплеем; через специально разработанное приложение со смартфона или планшетного компьютера; используя любой браузер без установки дополнительного программного обеспечения.

Данная разработка может быть использована не только в реальной системе отопления, но и в учебной, исследовательской деятельности студентов по дисциплинам: схемотехника, электроника, основы построения логических схем, программирование, технические средства автоматизации, технические измерения, теория автоматического управления и др., для изучения законов регулирования, основ программирования ОМК и модулей, протоколов взаимодействия устройств, основ построения технических структур и принципиальных схем, составления алгоритмов и их реализации.

Библиографический список

1. Цифровой термометр DS18B20: полная справочная информация [Электронный ресурс] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
2. Модуль ESP-12F: Спецификация [Электронный ресурс] https://www.mikrocontroller.net/attachment/286085/ESP8266-12F_Tronixlabs_Australia.pdf
3. Контроллеры Arduino UNO: Краткая справочная информация [Электронный ресурс] <http://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-13286688.pdf>

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Михайлов В.Г.¹, Киселева Т.В.²

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Одним из современных трендов эффективного функционирования предприятия является учет экологического фактора при реализации управленческих решений [1] в условиях многоуровневой системы менеджмента - от рабочего места производственного подразделения до генерального директора. На рисунке 1 представлена упрощенная схема технологии разработки эффективного экологобезопасного управленческого решения.

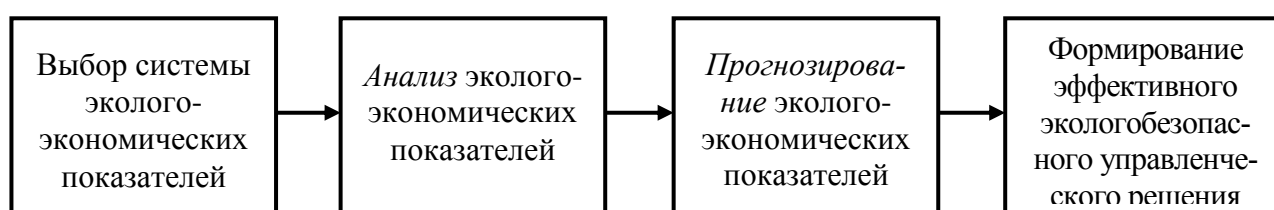


Рисунок 1 – Схема разработки эффективного экологобезопасного управленческого решения

Первый блок, представленный на рисунке 1, включает выбор системы эколого-экономических показателей, который зависит от многих факторов, в том числе, от размеров предприятия и особенностей его негативного воздействия на окружающую среду, отрасли, наличия достоверных данных и т.д.

Во втором блоке делается анализ эколого-экономических показателей, где определяется его цель, формируются задачи и порядок проведения.

Третий блок связан непосредственно с прогнозированием эколого-экономических показателей, результаты которого используется для обоснования и поддержки принятия эффективного экологобезопасного управленческого решения.

Результат четвертого блока включает весь диапазон управляющих воздействий, направленных на внутреннюю и внешнюю среду предприятия, в том числе:

- формирование производственной программы с учетом экологических ограничений;
- совершенствование организационной структуры природоохранной службы;
- реализация технологических решений, направленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду;
- организация закупок сырья и материалов на основании требований обеспечения экологической безопасности и т.д.

Большое значение для адекватного анализа и прогнозирования имеет выбор системы эколого-экономических показателей. Существуют различные подходы к решению данной проблемы, например, ряд исследователей отмечает, что при расчете эколого-экономических показателей большое значение имеет используемая методика расчета экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. В статье [2] авторами рассмотрены существующие подходы к оценке эколого-экономического ущерба, в том числе в разрезе экономических потерь в сфере лесопользования.

В работе [3] предложена методика расчета эффективности комплексного использования материальных ресурсов, основанная на системе показателей, отражающих социально-экономическую и экологическую эффективность. Группа показателей экономической эффективности включает следующие элементы:

- объем реализованной продукции с использованием отходов;

- сумма прибыли от реализации отходов и продукции, произведенной с их использованием;

- экономическая эффективность использования отходов.

Непосредственно проведение анализа эколого-экономических показателей также является ключевым этапом формирования эффективного управленческого решения, например, ряд авторов отмечает, что эколого-экономический анализ производств является важнейшей составной частью системы управления природопользованием на макро- и микроуровнях [4].

В работе [5] рассмотрена усовершенствованная методика эколого-экономического анализа природоохранной деятельности предприятия для обоснования повышения ее эффективности. При этом автор дополнил традиционную систему принципов экономического анализа деятельности предприятия специфическими показателями:

- фондоотдачей основных производственных фондов природоохранного назначения с учетом величины предотвращенного экологического ущерба на один рубль стоимости природоохранного оборудования;

- ресурсоемкостью продукции - через удельный вес их расхода в стоимостном выражении в себестоимости продукции.

В исследовании [6] разработаны расчетные показатели для проведения эколого-экономического анализа на предприятиях ЖКХ и объединены в следующие блоки:

- показатели состояния и эффективности использования основных средств, в том числе участвующих в природоохранных мероприятиях;

- эколого-экономические показатели, характеризующие влияние на процесс производства, выполнения работ, оказания услуг;

- эколого-экономические показатели, отражающие воздействие эколого-экономических процессов на финансовые результаты хозяйствующих субъектов;

- коэффициенты рентабельности капитала, скорректированные с учетом экологического фактора;

- показатели оборачиваемости.

На основе изучения множества подходов к проблеме эффективного эколого-экономического анализа была разработана система эколого-экономических показателей [7], апробированная на данных предприятий КАО «Азот» и ПАО «Кокс», оказывающих существенное негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). Важнейшее значение имеют статистические зависимости уровня риска [7, 8], платы за НВОС и коэффициента компенсации экономического ущерба от текущих затрат на охрану окружающей среды. Информационной базой для определения данных показателей является статистическая форма отчетности № 4-ОС «Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды и экологических платежах».

Уровень риска или удельный вес платы за сверхнормативное НВОС в общей величине платы определяется по формуле (1):

$$УР = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{П_{снkl}}{П_{kl}} 100 \%, \quad (1)$$

где k - вид загрязняющего вещества или класс опасности отходов производства и потребления;

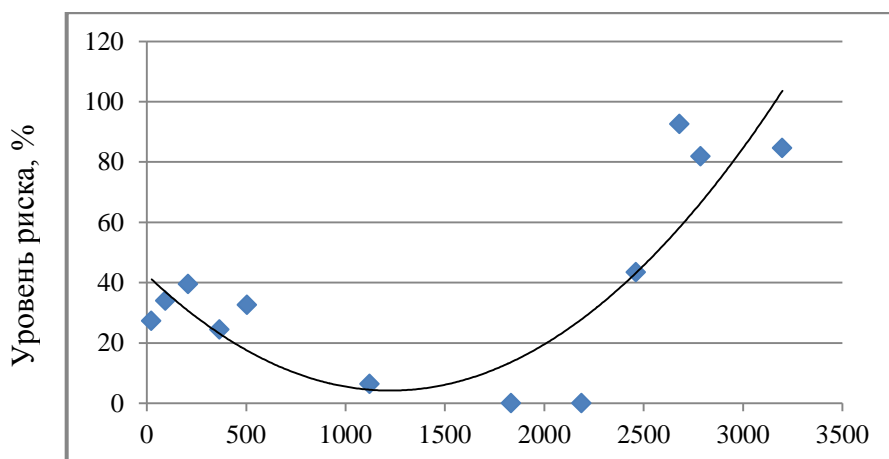
l - элемент окружающей среды;

K - общее количество видов загрязняющих веществ или классов опасности отходов производства и потребления;

L - общее количество элементов окружающей среды;

$П_{kl}$, $П_{снkl}$ - соответственно, общая величина платы и плата за сверхнормативное НВОС k -го вида загрязняющего вещества или класса опасности отходов производства и потребления на l -й элемент окружающей среды, млн. р.

На рисунке 2 показано корреляционное поле зависимости между текущими затратами на охрану окружающей среды и уровнем риска по предприятию КАО «Азот». Каждая точка на анализируемых корреляционных полях отображает календарный год.

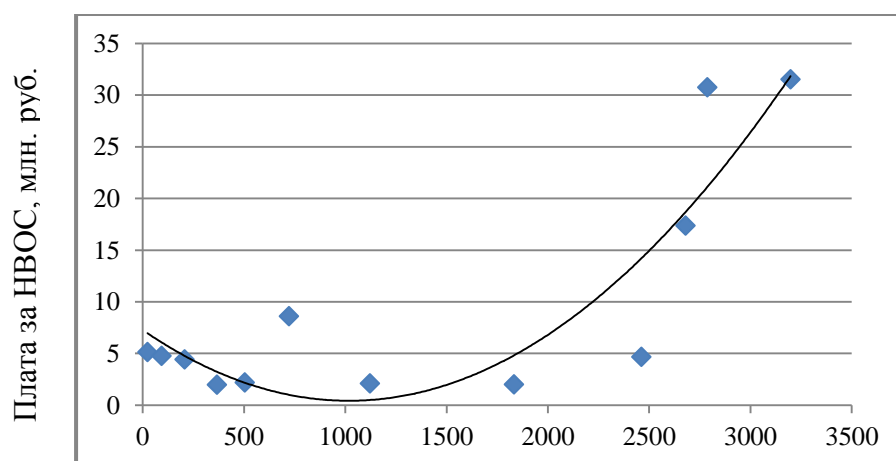


Текущие затраты на охрану окружающей среды, млн. р.

Рисунок 2 – Корреляционное поле и эмпирическая линия регрессии зависимости уровня риска от текущих затрат на охрану окружающей среды на предприятии КАО «Азот»

Из рисунка 2 видно, что зависимость носит нелинейный характер, в частности, до 2013 года (точки в левой части графика) наблюдается обратная зависимость, когда увеличение текущих затрат от 23,8 до 2187,5 млн. р. приводит к снижению УР от 39,59 до 0 %. С 2013 года (правая часть графика) дальнейшее увеличение текущих затрат сопровождается значительным ростом УР до 92,58 %, что объясняется резким увеличением платы за сверхнормативное загрязнение водных источников и может быть вызвано масштабным техническим перевооружением очистных сооружений, которое планируется завершить в 2017 году. *Прогноз уровня риска*, выполненный с помощью простой экстраполяции, при условии неизменной экологической политики предприятия на период прогноза показал, что дальнейшее увеличение текущих затрат не приведет к снижению уровня риска, значение которого будет колебаться около 100 %. Такая ситуация характеризует неэффективное использование текущих затрат на охрану окружающей среды и требует поиска более действенного механизма их распределения для повышения экобезопасности предприятия.

На рисунке 3 показано корреляционное поле связи между текущими затратами на охрану окружающей среды и платой за НВОС по предприятию КАО «Азот».



Текущие затраты на охрану окружающей среды, млн. р.

Рисунок 3 – Корреляционное поле и эмпирическая линия регрессии зависимости платы за НВОС от текущих затрат на охрану окружающей среды на предприятии КАО «Азот»

Анализ рисунка 3 также отображает разные условия реализации природоохранной политики предприятия. В нижней части корреляционного поля видно, что значительное увеличение текущих затрат (от 24 млн. р. до, приблизительно 2,5 млрд. р.) привело к небольшому колебанию платы (от 5 до 2 млн. р.). Верхняя часть корреляционного поля показывает, что дальнейшее увеличение текущих затрат сопровождается резким ростом платы (до 31,51 млн. р.) за счет сверхнормативного загрязнения водных источников. *Прогноз платы за НВОС* согласуется с выводами, сделанными по итогам анализа рисунка 2. В частности, текущие затраты, предназначенные для снижения негативного воздействия, в данных условиях не выполняют этой функции и при *прогнозе* их увеличения до 3,5 млрд. руб. плата за негативное воздействие также увеличится и будет составлять более 40 млн. руб.

Для оценивания эколого-экономической эффективности природоохранной деятельности может использоваться такой показатель, как коэффициент компенсации экономического ущерба (*ККЭу*), который для конкретного предприятия рассчитывается по формуле (2):

$$ККЭу = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{\Pi_{kl}}{\Delta Y_{kl}} 100 \% , \quad (2)$$

где ΔY_{kl} – экономический ущерб от негативного воздействия k -го вида загрязняющего вещества или класса опасности отходов производства и потребления на l -й элемент окружающей среды, млн. р.

На рисунке 4 приведено корреляционное поле зависимости коэффициента компенсации экономического ущерба от текущих затрат на охрану окружающей среды предприятия ПАО «Кокс».

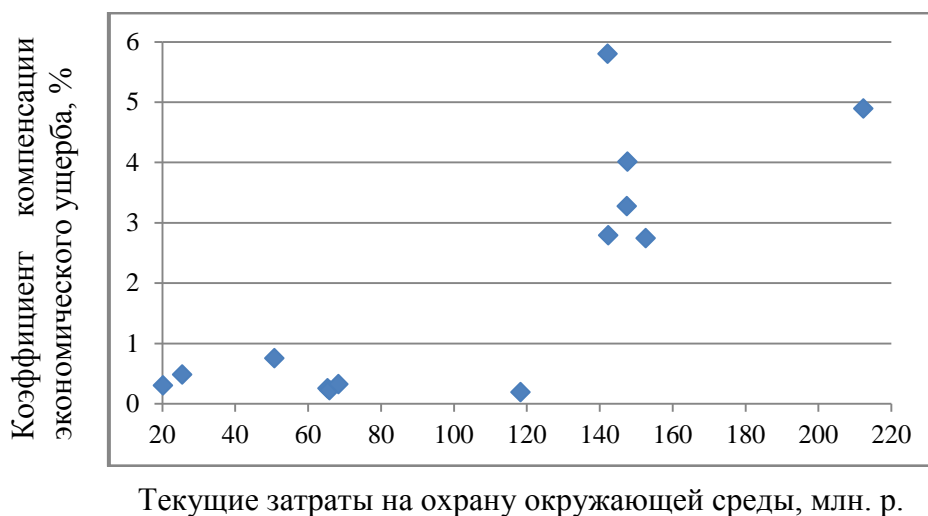


Рисунок 4 – Корреляционное поле зависимости коэффициента компенсации экономического ущерба от текущих затрат на охрану окружающей среды предприятия ПАО «Кокс»

Из рисунка 4 можно предположить, что природоохранная деятельность на предприятии реализовывалась при разных условиях. Нижняя часть корреляционного поля характеризует существенное увеличение текущих затрат (от 20 до 69 млн. р.), при котором *ККЭу* находится ниже 1 % и почти не изменяется. Верхняя часть поля также показывает резкое увеличение текущих затрат (от 142,6 до 213,2 млн. р.), но при этом наблюдается значительное увеличение *ККЭу* (от 2,74 до 5,8 %). Такая ситуация объясняется, в том числе, вводом в эксплуатацию замкнутого водооборотного цикла, что привело к снижению величины экономического ущерба. Общая тенденция *ККЭу* является положительной и при увеличении текущих затрат на охрану окружающей среды до 250 млн. руб. его *прогнозное значение*, также полученное простой экстраполяцией, должно составить более 4 %.

Прогнозирование [9] данных эколого-экономических показателей требует формирования управленческих решений, направленных на повышение эффективности использования текущих затрат. Прогнозируемое увеличение уровня риска и платы за НВОС также мотивирует предприятия к повышению эффективности организационно-экономического механизма управления природопользованием, в частности, для КАО «Азот» целесообразно планировать производственную программу с учетом экологических ограничений.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- разработана упрощенная схема технологии разработки эффективного экологобезопасного управленческого решения с интерпретацией отдельных блоков;
- проведен выбор системы эколого-экономических показателей на основе анализа литературных источников;
- предложены эколого-экономические показатели, основанные на официальных данных и адаптированные к особенностям конкретных предприятий;
- сделан анализ зависимости основных эколого-экономических показателей от текущих затрат на охрану окружающей среды по эмпирическим данным;
- сделан прогноз основных эколого-экономических показателей с учетом «нелинейности» реализации природоохранной политики предприятия, по результатам которого можно оценить ожидаемое состояние эколого-экономической системы;
- выработаны предложения для системы поддержки принятия [10] эффективного экологобезопасного управленческого решения.

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. Животягина, Н.И. Применение расчета эколого-экономического ущерба в лесопользовании / Н.И. Животягина, Н.В. Орехова, Н.В. Казанцева // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 88 (04). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/51.pdf; (дата обращения 24.10.2017).
3. Дороговцева, А.А. Отходные места. Стратегия использования отходов производства химико-металлургического комплекса (на примере предприятий Вологодской области) / А.А. Дороговцева // Российское предпринимательство. – 2005. – № 3. – С. 89-95.
4. Редина, М.М. Анализ эколого-экономической устойчивости предприятий нефтегазового комплекса / М. М. Редина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 11. – С. 266-269.
5. Никитин, В.Н. Совершенствование методики эколого-экономического анализа природоохранной деятельности предприятия [Текст]: дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05. – Екатеринбург, 2006. – 159 с.
6. Закалюкина, Е.В. Эколого-экономический анализ в системе учетно-информационного обеспечения управления жилищно-коммунальным хозяйством / Е.В. Закалюкина // Вестник Челябинского государственного университета. – Экономика. – 2012. – № 8 (262). – Выпуск 36. – С. 87–90.
7. Михайлов, В.Г. Оценивание эколого-экономических показателей предприятия как инструмент поддержки принятия эффективного экологобезопасного управленческого решения / В.Г. Михайлов, Т.В. Киселева // IX Всероссийская научно-практическая конференция «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве»: сборник. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2013. – С. 426-431.
8. Киселева, Т.В. Процесс управления информационными рисками на основе их анализа / Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – Т. 44. – № 2.1. – С. 129-133.
9. Кулаков, С.М. Типология функциональных структур систем управления с прогнозированием / С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь, В.Б. Трофимов // Известия высших учебных заве-

дений. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 54-60.

10. Корабельников, И.А. Выделение признаков классификации систем поддержки принятия решений / И.А. Корабельников, Т.В. Киселева // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – Т. 44. – № 2. – С. 85-90.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОХОДОМ

Аксенов В.В., Чичерин И.В.

*Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, Кемерово
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия*

Перспективным способом проведения горных работ является геовинчестерная технология [1-7]. Техническим средством, реализующим этот способ является геоход. Геоход – это аппарат, использующий геосреду для перемещения в подземном пространстве. Область применения геохода очень широка [8-11]:

- проходка горных выработок различного расположения в пространстве;
- возведение подземных сооружений различного назначения;
- прокладка городских коллекторов;
- строительство магистральных тоннелей метро;
- строительство подземных складов, хранилищ, переходов, гаражей;
- ведение аварийно-спасательных работ в завалах;
- возведение полевых фортификационных сооружений.

Конструкция геохода построена по модульному принципу (рисунок 1). Базовыми составляющими геохода являются исполнительный орган, разрушающий забой (барабаны резания), головная и хвостовая секции, внешний движитель [12-18].

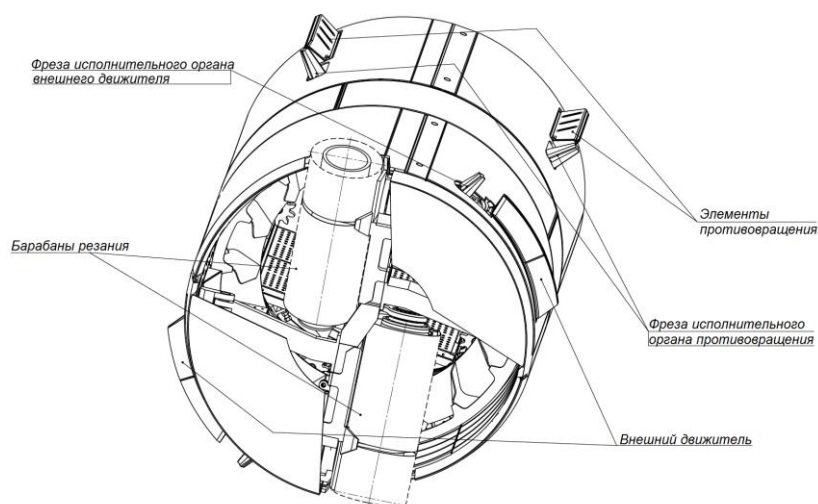


Рисунок 1 – Общий вид геохода

Для эффективной работы геохода необходимо четкое взаимодействие всех систем геохода, в том числе, учитывающее изменяющиеся условия внешней геосреды. Для обеспечения такого взаимодействия необходима система управления, которая позволит контролировать как отдельные системы, так и геоход в целом.

Перечень задач, решаемых при управлении геоходом, зависит от технических характеристик конкретной модели геохода. Однако все эти задачи можно разделить на следующие классы:

- 1) управление движением геохода в геосреде;
- 2) повышение эффективности работы геохода;

- 3) позиционирование гехода в пространстве;
- 4) управление вспомогательными системами;
- 5) диагностика состояния гехода;
- 6) взаимодействие системы управления геходом с оператором.

Задача управления движением гехода, в первом приближении, сводится к задаче управления исполнительными механизмами, основу которых составляют гидроцилиндры и гидромоторы. Гидроцилиндры и гидромоторы приводят в движение исполнительные органы, в результате чего геход осуществляет перемещение в геосреде [19-22]. Решение этой задачи может быть осуществлено как в ручном, так и автоматическом режимах. В ручном режиме оператор с помощью органов управления включает исполнительные механизмы и меняет параметры их работы для осуществления маневрирования и изменения скорости движения гехода. В автоматическом режиме оператор задает траекторию и скорость движения, а система управления рассчитывает параметры работы исполнительных механизмов и подает на них соответствующие управляющие воздействия.

Задача повышения эффективности работы гехода разделяется на две подзадачи:

- повышение эффективности работы гехода на основе критериев оптимизации;
- повышение эффективности работы гехода на основе использования адаптивных алгоритмов, учитывающих неоднородность геосреды и динамические параметры гехода.

Для решения задачи оптимизации необходимо разработать математические модели и интеллектуальные алгоритмы работы системы управления геходом, учитывающих взаимосвязь всех его элементов. Эти модели и алгоритмы позволят подавать на исполнительные механизмы такие управляющие воздействия, при которых работа гехода будет удовлетворять заданному критерию оптимизации. Критериями оптимизации могут быть энергозатраты гехода на единицу пути, точность траектории движения.

Математические модели для адаптивного управления должны учитывать неоднородность параметров геосреды (крепость по шкале Протоодьяконова, и т. д.) и динамические параметры гехода, которые будут зависеть от скорости, ускорения, направления движения (прямо, вверх, вниз, влево, вправо) гехода [23].

В настоящее время задача ориентации в пространстве наземных объектов эффективно решается с помощью систем глобального позиционирования (ГЛОНАСС, GPS). Однако для геходов и других горных машин, работающих под землей, использование таких систем невозможно, так как сигналы спутников до них не доходят. В настоящее время в шахтах получили широкое распространение системы позиционирования горнорабочих и транспорта [24]. Работа таких систем основана на регистрации радиометок, которые встроены в шахтные головные светильники горнорабочих и установлены на транспорте. Радиометки фиксируются с помощью считывателей, которые закладываются в специальные скважины, пробуренные на маршруте движения персонала и транспорта. Считыватели по каналам связи передают данные о зарегистрированных метках на сервер сбора данных. Очевидно, что использование таких систем для проходческих машин, в том числе геходов, невозможно, так как считыватели и каналы связи нельзя заранее установить на пути следования машины. Таким образом, разработка системы позиционирования гехода в пространстве является предметом дальнейших исследований. Работа такой системы должна быть основана на сочетании технологий лазерного позиционирования, позиционирования по радиометкам, ориентации с помощью гироскопов и компьютерного моделирования подземного пространства.

Под вспомогательными системами гехода понимаются системы обеспечивающие основной процесс – движение гехода в геосреде. К таким системам можно отнести: энергосиловую установку, транспортный модуль, систему освещения. Задача управления этими принципиально различными системами также должна решаться системой управления геходом.

Тяжелые условия эксплуатации гехода, а также высокий уровень динамических нагрузок предопределяет особые требования к его надежности. Одним из важных факторов повышения надежности в условиях эксплуатации является техническое диагностирование. Система управления гехода должна включать диагностическую подсистему, выполняющую

контроль технического состояния путем измерения и индикации параметров элементов геолохода, устройств автоматики, электрических и гидравлических систем, систем смазки, подшипниковых узлов и т.д.

Основными техническими средствами для осуществления взаимодействия системы управления геолоходом с оператором являются пульт управления и устройство отображения информации. С помощью пульта управления оператор подает управляющие воздействия на подсистемы, исполнительные механизмы и устройства геолохода работающего в ручном, полуавтоматическом (автоматизированном) или автоматическом режимах. В полуавтоматическом режиме необходимо решить задачу четкого разделения функций управления между оператором и устройством управления. Устройство отображения информации (монитор) позволяет оператору в режиме реального времени и ретроспективно отслеживать состояние процессов и элементов, наличие аварийных ситуаций, результаты работы системы диагностирования. Также возможна реализация дополнительного звукового и светового оповещения оператора, например для сигнализации аварийных ситуаций. Задача системы управления заключается в предоставлении оператору необходимой информации.

Результаты. С учетом сложности и многообразия сформулированных задач, решаемых при управлении геолоходом, а также с учетом сложной структуры конструкции геолохода, состоящего из множества взаимосвязанных систем, была разработана общая структура многоуровневой системы управления геолоходом, которая представлена на рисунке 2.

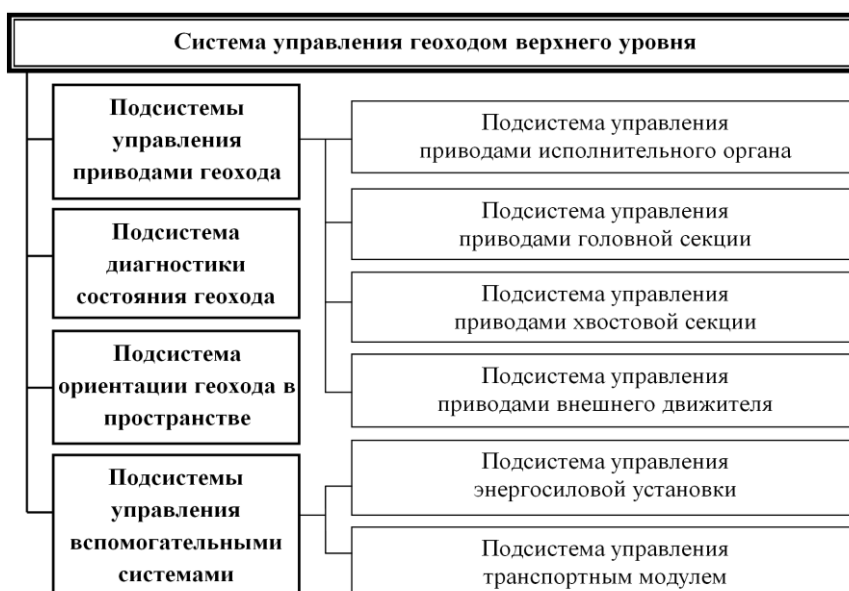


Рисунок 2 – Общая структура системы управления геолоходом

Система управления верхнего уровня представляет собой информационно-управляющую систему, которая решает задачи координации работы нижестоящих подсистем, обмена информацией между этими подсистемами, а также взаимодействия системы управления геолоходом с оператором.

Средний уровень системы управления представлен подсистемами управления приводами, вспомогательными системами, диагностики состояния и ориентации геолохода в пространстве.

Подсистемы управления приводами решают задачи автоматического управления исполнительными механизмами систем геолохода, обеспечивающих перемещение геолохода в изменяющейся геосреде, с учетом заданных критериев оптимизации. Описание задач других подсистем среднего уровня приведены выше.

Нижний уровень представлен подсистемами управления конкретными приводами основных (исполнительного органа, головной и хвостовой секциями, внешнего движителя) и вспомогательных (энергосиловой установкой, транспортным модулем) систем.

Приведенные описание задач и общая структура системы управления позволяет сделать вывод о том, что задачи, решаемые системой управления геогодом, сложны и многообразны. Однако в настоящее время отсутствуют научно-обоснованные подходы для разработки, математические модели и алгоритмы систем управления геогодами. Это сдерживает создание геогодов, обладающих принципиально новыми характеристиками. Поэтому исследования, направленные на решение этих задач являются актуальными.

Библиографический список

1. Создание нового инструментария для формирования подземного пространства / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.Б. Ефременков, А.С. Казанцев, В.Ю. Бегляков, А.В. Вальтер//Горная техника. -2015. -№ 1 (15). -С. 24-26.
2. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of Conferences. 2017. Т. 15. С. 03015.
3. Бегляков В.Ю. Обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геогода с породой забоя. Дис. Канд. Техн. Наук.-Кемерово, 2012.-139 с.
4. Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 91, 012086 (2015)
5. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геогода / В.В. Аксенов, А.В. Вальтер, В.Ю. Бегляков//Обработка металлов (Технология, оборудование, инструменты). 2014. № 4 (65). С. 19 -28.
6. A.B. Efremenkov, 6th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2011): Proceedings: in 2 vol. IEEE, 1, 348 (2011).
7. V.Y. Begljakov, V.Y. Timofeev, M.V. Dokhnenko, Applied Mechanics and Materials, 682, 282 (2014).
8. Brierley G., Smith Y. Going under? How about urban design build! // World Tunnel. And subsurface Excav.-1998.-№9.
9. J.Carmody, R.Sterling. Underground space design. Coopiright by V.N.Reinhold, New York, 1993, Library of Congress Catalog Card Number 92-33460 ISBN 0442- 01383-3.
10. Wighman T. Think deeps – go underground // ENR: News – Rec. – 1998. - №4.
11. Nishi S., Seiki T. Planning and design of underground space use. // Mem. Sch. Eng. Nagoya Univ.-1997.- №1.
12. M.Y. Blashchuk, A.A. Kazantsev, R.V. Chernukhin, Applied Mechanics and Materials, 682, 418 (2014)
13. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of Conferences. 2017. Т. 15. С. 03015.
14. V.V. Aksenov, A.B. Efremenkov, V.Y. Beglyakov, Applied Mechanics and Materials, 379, 16 (2013).
15. M.Y. Blaschuk, A.A. Dronov, S.S. Ganovichev, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 127, 012033 (2016).
16. Влияние параметров образующей геликоида на форму ножевого исполнительного органа геогода / В.Ю. Садовец, Д.А. Пашков // В сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2016» 23-24 ноября 2016 г./Кемерово, 2016 г.
17. Ефременков, А.Б. Разработка научных основ создания систем геогода: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06 / Ефременков Андрей Борисович. – Кемерово, 2016. – 314 с.
18. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геогодов. Дис. канд. техн. Наук. -Кемерово, 2007. -139 с.
19. R.V. Chernukhin, M.Y. Blaschuk, V.Yu. Blumenstein, P.A. Chazov, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 142, 012003 (2016).
20. V.Y. Sadovets, V.Y. Beglyakov, A.B. Efremenkov, Applied Mechanics and Materials, 770, 384 (2015).
21. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геогода для раз-

рушения пород малой крепости/Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А.//Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 6 (117). С. 8-15.

22. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости. Дис. Канд. Техн. Наук.-Кемерово, 2016.-145 с.

23. Аксенов, В.В. Обоснование необходимости разработки унифицированной математической модели геохода / В.В. Аксенов, В.Ю. Бегляков, С.И. Гановичев // Технологии и материалы. 2015. № 3. С. 9-13.

24. Благодарный А.И. Автоматизированная система наблюдения, оповещения и поиска персонала при авариях в шахтах / А.И. Благодарный, О.З. Гусев, С.С. Журавлёв, А.С. Зензин, Е.П. Золотухин, Л.С. Каратышева, В.В. Колодей, Э.Г. Михальцов, Г.П., Чейдо, Р.А. Шакиров, С.Р. Шакиров // Горная промышленность. 2009. № 1. С. 34–38.

РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

Гусев С.С.

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

Реакторы на быстрых нейтронах (БН) представляют собой особый класс реакторов, который стремительно развивается в последнее время. Последнее поколение реакторов на быстрых нейтронах, а именно разработка БН-1200, которая должна запуститься в 2025 году позволяет использовать небогатенный уран ^{238}U в качестве топлива. Тогда как другие типы реакторов, такие как, например водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР) позволяют использовать в качестве топлива только обогащенный уран ^{235}U .

Актуальность вопроса использования того или иного типа реактора для получения электрической энергии зависит от того какие из делящихся ядра тяжелых элементов задействованы в цепной реакции деления в реакторе. АЭС использует ядра тяжелых элементов – урана (^{235}U) и плутония (^{239}Pu) и их изотопов. При делении ядер выделяется энергия, что способствует энерговыделению в АЭС. Но можно использовать только ядра, имеющие определенную массу – ядра изотопов. В атомных ядрах изотопов содержится одинаковое число протонов и разное число нейтронов, из-за чего ядра разных изотопов одного и того же элемента имеют разную массу. У урана, например, 15 изотопов, но в ядерных реакциях участвует ^{235}U или ^{238}U .

В большинстве типов реакторов – тепловых реакторах используется обогащенный уран – ^{235}U . Однако существует такой вид реакторов – реакторы на быстрых нейтронах, которые имеют свое сокращенное обозначение – БР или БН. К БР часто относятся обозначения исследовательских типов реакторов, в которых используется ^{235}U или ^{238}U с примесями, что делает его таким же обогащенным как и ^{235}U , тогда как к БН относятся промышленные реакторы типа БН-600, БН-800, в которых может использоваться небогатенный уран – ^{238}U , основной составляющей природного урана (~99,3%). Этот изотоп хорошо поглощает быстрые нейтроны и превращается в другой элемент – оружейный плутоний ^{239}Pu и делящийся изотоп плутония ^{241}Pu . Главная особенность ядерных реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что они открывают возможность использования не делящихся в реакторах на тепловых нейтронах изотопов тяжёлых элементов.

Реакторы на быстрых нейтронах очень компактны. Им не нужны ни замедлители, ни поглотители – их роль играет уран. Называются они реакторами-размножителями, или бридерами. Воспроизведение ядерного горючего позволяет в десятки раз полнее использовать уран, поэтому реакторы БН считаются одним из перспективных направлений атомной энергетики.

В реакторах такого типа, кроме тепла, нарабатывается еще и вторичное ядерное топливо, которое можно использовать в дальнейшем. Здесь ни в первом, ни во втором контурах нет высокого давления. В качестве жидкометаллического теплоносителя используется жид-

кий натрий, что вызывает эрозию труб – тепловыделяющих сборок (ТВС), а, следовательно, и активной зоны (АЗ), что является недостатком реактора. Он циркулирует в первом контуре, нагревается сам и передает тепло натрию второго контура, а тот, в свою очередь, нагревает воду в пароводяном контуре, превращая ее в пар. Теплообменники изолированы от реактора.

В реакторах на быстрых нейтронах не нужно достигать высокого давления 16 МПа, как в тепловых реакторах. В них также не нужна огромная толщина стенок из-за давления, как в водо-водяном энергетическом реакторе (ВВЭР) или в РБМК. В БР отсутствует йодная яма, которая существует в ВВЭР [1], РБМК и других типов тепловых реакторов. Это свойство реакторов БР значительно увеличивает их эффективность, так как в процессе деления ядер урана в реакторах типа ВВЭР, РБМК, во время работы ядерного реактора, среди прочих продуктов деления образуется радиоактивный изотоп йода ^{135}I . В результате β -распада с периодом полураспада 6,57 часа он превращается в изотоп ксенона ^{135}Xe . Этот изотоп тоже радиоактивен, но его период полураспада больше – 9,14 часа. ^{135}Xe очень хорошо поглощает нейтроны. Поглощенные им нейтроны, очевидно, не могут участвовать в цепной реакции деления урана, поэтому присутствие ^{135}Xe снижает запас реактивности реактора. В реакторе, работающем на большой мощности, убыль ^{135}Xe определяется его радиоактивным распадом и выгоранием в результате захвата нейтронов. Образование йодной ямы на 1-2 суток приостанавливает работу реактора.

В реакторах БР существует отдельная зона воспроизводства для производства оружейного плутония ^{238}Pu и ^{239}Pu . Эта зона находится на периферии АЗ и тем самым дает возможность удалять плутоний из АЗ. ТВС удаляются из АЗ реактора по достижению проектного выгорания ядерного топлива. Выгорание это уменьшение количества делящегося топлива за время работы реактора на определенной мощности. При достижении выгорания определенного процента ядерного топлива сборку извлекают из АЗ и доставляют частично на переработку оружейного плутония ^{238}Pu в ^{238}U , а частично на утилизацию.

Реакторы БР имеют топливно-замкнутый цикл обработки путем добавления примесей к ^{238}U для получения обогащенного урана ^{235}U и вторичного его использования в исследовательских реакторах на быстрых нейтронах.

Быстрые реакторы могут служить не только для получения энергии. Потоки нейтронов высокой энергии способны эффективно сжигать наиболее опасные долгоживущие радионуклиды, образующиеся в отработавшем ядерном топливе. Это имеет принципиальное значение для решения проблемы обращения с радиоактивными отходами атомной энергетики. Дело в том, что период полураспада некоторых радионуклидов намного превышает научно обоснованные сроки стабильности геологических формаций, которые рассматриваются в качестве мест окончательного захоронения радиоактивных отходов. Поэтому, применив топливно-замкнутый цикл с выжиганием радионуклидов и трансмутацией долгоживущих продуктов деления в короткоживущие, можно радикально решить проблему обезвреживания отходов атомной энергетики и многократно уменьшить объем радиоактивных отходов, подлежащих захоронению.

Ключевую роль в становлении атомной энергетики как показывает практика за последние десятилетия в области развития атомной отрасли играют реакторы на быстрых нейтронах. Перспективы развития, описанные выше, дают понять, что будущее стоит за реакторами на быстрых нейтронах. И этому способствует ряд технико-экономических показателей и повышения безопасности АЭС. К повышению безопасности реакторов на быстрых нейтронах можно отнести такие факторы, как внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), протекающем в АЗ реактора, переход с аналоговой техники систем управления защитой (СУЗ) на цифровую, комплексное решение задач управления в области безопасного управления АЭС и ряд других ключевых технологических факторов, введенных в последнее время в области управления реакторами БН. Однако сам процесс и технология проектирования реакторов остается прежним в общем смысле.

Реакторы на быстрых нейтронах пятого поколения базируются на использовании натриевого теплоносителя, в то время как прежние реакторы базировались на использовании

свинцово-висмутного и свинцового теплоносителей. Использование натрия в качестве теплоносителя хорошо тем, что, во-первых, натрий не замедляет нейтроны при протекании цепной реакции деления ядер урана, во-вторых, натрий можно смело разогревать до температур 600°C, и давление в реакторе поднимется чуть выше атмосферного [2]. Таким образом, можно устанавливать менее толстый корпус по сравнению с реакторами, в которых теплоносителем является вода (например, ВВЭР-1200), а значит, снижается расход довольно дорогих сталей. В-третьих, натрий практически не вызывает коррозию конструкционных материалов, из которых изготовлено реакторное оборудование и трубопроводы. Конечно, натрий в этом отношении снова выигрывает у воды. Кроме того, натрий обладает прекрасными теплофизическими свойствами: он хорошо принимает, проводит и отдает тепло. Ниже на рис.1 показан свежесрезанный металлический натрий.

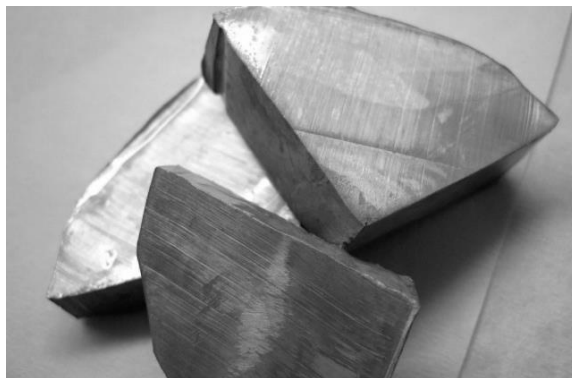


Рисунок 1 – Свежесрезанный металлический натрий

Главное преимущество реакторов на быстрых нейтронах является факт того, что он может производить топливо для реакторов на тепловых нейтронах. Ведь ^{238}U в АЗ ядерного реактора превращается в ^{239}Pu , который является эффективным ядерным топливом. Значит, можно облучить ^{238}U в реакторе на быстрых нейтронах и химическим способом выделить чистый плутоний, из которого, в свою очередь, можно изготовить топливо для реакторов на тепловых нейтронах.

Это весьма актуальная задача, потому что подавляющее большинство ядерных энергоблоков в мире работает именно на тепловых нейтронах. Топливо для них – низкообогащенный уран, в котором доля ^{235}U составляет несколько процентов, остальное – ^{238}U . После того как топливо отработало в ядерном реакторе на тепловых нейтронах, ^{235}U там уже мало, но изотопа с массой 238 вполне достаточно – более 90 процентов. А если выделить весь уран из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) химически, сделать из него новое ядерное топливо и облучить в реакторе на быстрых нейтронах? Тогда получится плутоний, из которого можно изготовить ядерное топливо для реактора на медленных нейтронах. Цикл замкнулся, что представлено на рис. 2.

Уже не нужно добывать уран из земли и очищать его от сопутствующих веществ – более нет необходимости наносить урон природе. У нас и так накоплено довольно много ^{238}U в форме ОЯТ и обедненного гексафторида урана (ОГФУ) – «хвостов» обогатительных производств. По имеющимся оценкам его хватит на несколько сотен лет [2]. Сейчас уран пока еще довольно дешев. С экономической точки зрения выгоднее добывать его из земли, обогащать и использовать в реакторах на тепловых нейтронах – в мире их подавляющее большинство.

Технология реакторов на быстрых нейтронах уже достаточно развита, особенно в нашей стране, но их серийное строительство пока не организовано, поэтому они сравнительно дороги. Кроме того, должно быть организовано крупномасштабное радиохимическое производство по выделению плутония; это дает дополнительные расходы. Так что, пока не выгодно. Но специалисты утверждают: к середине века уран станет труднее добывать (месторождения истощаются), цена на него значительно возрастет. Вот тогда и наступит эпоха «быстрой энергетики».



Рисунок 2 – Замыкание топливного цикла

Исчезнут ли реакторы на тепловых нейтронах? Конечно, нет. Скорее всего, на одной площадке будет размещен реактор на быстрых нейтронах и несколько реакторов на тепловых нейтронах, а также радиохимическое производство. Быстрый реактор будет производить плутоний для тепловых реакторов. Но чем он будет «питаться» сам? И здесь проявляется еще одно преимущество реакторов на быстрых нейтронах.

Быстрый реактор способен производить больше топлива, чем потребляет [2]. Так, израсходовав 100 килограммов делящегося изотопа, можно получить 120-130 килограммов свежего ядерного топлива. Из-за этой особенности реакторы на быстрых нейтронах называют бридерами (от англ. breeder - размножитель). Итак, бридер производит плутоний не только для соседей, работающих на тепловых нейтронах, но и для себя самого.

В докладе стоит дать оценку об основных возмущающих воздействиях, которые целесообразно контролировать. К таким параметрам следует отнести температуру в АЗ, балансное содержание парогенератора, давление в АЗ реактора и критический тепловой поток. Их как раз целесообразнее всего контролировать для поддержания протекающей цепной реакции деления ядер обогащенного урана в АЗ. Разница температур на входе и выходе АЗ дает нам возможность определить подогрев теплоносителя в АЗ. И зная насколько он подогревается, и плотность нейтронного потока, можно вычислить мощность реактора. Эксплуатация реакторов БН требует постоянного подогрева контуров и как следствие затрат огромной энергии других источников в режиме остановки в отличие от ВВЭР и РБМК, в которых теплоносителем служит не натрий, а вода. При работе ВВЭР и РБМК, а также и БН происходит выгорание ТВС в АЗ. Причем в центре АЗ любого типа реактора ТВС выгорают быстрее, чем на периферии. Методика перегрузок ТВС в АЗ с целью достижения оптимального выгорания сборок различна для реакторов на тепловых и быстрых нейтронах. Реакторы класса ВВЭР прогревают главными циркуляционными насосами (ГЦН) при «холодном» пуске реактора в отличие от БН, которые изначально уже готовы к работе.

Перспективы развития реакторов БН обеспечиваются приведенными выше свойствами реакторов на быстрых нейтронах в отличие от ВВЭР, РБМК или других типов тепловых реакторов. Перспективы очевидны. Базируясь на свойствах реакторов БН можно смело утверждать, что будущее поколение реакторов в атомной энергетике, отрасли стоит за реакторами на быстрых нейтронах.

Первоначальное развитие проекта реактора БН-1200, подразумевало под собой создание реактора с тепловой мощностью 1600 МВт, то есть в 2010 году была заложена концепция развития реактора и его проектирование как БН-1600. Однако после истечения некоторого времени и внесения изменений в конструкторские замечания выходную мощность реактора снизили до 1200 МВт. Необходимо отметить, что для успешной реализации проекта пилотной коммерческой АЭС имеются серьезные основания. Говоря о перспективах развития реакторов на быстрых нейтронах в атомной энергетике [1], в настоящее время в Обнинске приступили к разработке нового промышленного реактора БН-1200 – пятого энергоблока на Белоярской АЭС строительство которого должно начаться в 2020 году, а закончиться в 2025 году. В программе задействованы 12 крупных организаций. Определенная доля участия от-

водится Обнинскому Государственному Научному Центру Российской Федерации Физико-энергетическому институту, за которым закреплен статус научного руководителя. БН-1200 станет “локомотивом” топливно-замкнутого цикла, когда реактор, сжигая топливо одного вида, воспроизводит топливо другого вида, выделяя большое количество энергии, работает почти без потерь. Анализ опыта разработки и эксплуатации исследовательских и промышленных реакторов на быстрых нейтронах показывает, что технология быстрых натриевых реакторов на быстрых нейтронах обладает значительными резервами по улучшению технико-экономических показателей и повышению безопасности.

Библиографический список

1. Гусев С.С. Проблемы управления АЭС на современном этапе развития атомной отрасли // Интерактивная наука №4, 2017. – С. 108 – 110.
2. Акатов А. А., Коряковский Ю. С. Будущее ядерной энергетики. Реакторы на быстрых нейтронах. – 2012. – 36 с.

ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СЫРЬЕВЫМИ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

Главная задача металлургического комплекса страны сегодня состоит в сохранении рынков металлопродукции на базе повышения конкурентоспособности продукции. Решение этой задачи обеспечит достижение стратегической цели развития металлургии – преобразование ее в динамично развивающуюся, высокотехнологичную, эффективную и конкурентно-способную отрасль, интегрированную в мировую металлургию в рамках международного разделения труда. Поскольку металлургические предприятия России работают при нестабильности рынка железорудного сырья, топливно-энергетических ресурсов, то в связи с этим возрастает роль научно обоснованных решений, направленных на решение комплекса технологических задач по определению оптимального состава доменных и агломерационных шихт, подбора рационального шлакового, дутьевого, газодинамического и теплового режимов доменной плавки. Актуальность этих задач возрастает в связи с изменением конъюнктуры рынка, необходимостью разработки и внедрения гибких технологических режимов, обусловленных колебаниями спроса на металл, нестабильностью состава материалов при подготовке железорудного сырья, загрузкой в печь нетрадиционных видов сырья.

Это определило потребность в разработке математической модели, учитывающей физику аглодоменного процесса, основы теории тепло- и массообмена, законы сохранения энергии и одновременно учитывающую особенности влияния технологических характеристик и стандартных характеристик сырья на показатели доменной плавки, и пригодной для оценки возможных сценариев поведения доменной печи [1-6]. Необходимость учета кинетических факторов процесса восстановления и введение ГОСТИрованных характеристик металлургического сырья для доменных печей, удобных для практического использования техническим персоналом, вытекает из требований по повышению точности и адекватности математической модели. В настоящее время становится очевидной роль алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области доменного производства именно для MES-уровня (Manufacturing Execution Systems – системы управления технологией, исполнения производства) современных автоматизированных информационных систем крупнейших металлургических предприятий России. Следует отметить, что в целом анализ состояния вопроса по реально используемым математическим моделям в практике технологии ведения доменной плавки показывает: в настоящее время разрыв между по-

тенциальными возможностями средств автоматизации и реально используемым программным обеспечением огромен.

В связи с этим следует выделить научные проблемы, первостепенными из которых являются:

– использование современных достижений в области математического моделирования, теории и практики доменной плавки, теории управления при разработке автоматизированных систем управления;

– разработка на основе современных принципов соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения.

Структура модели выбора состава железорудного сырья и флюсов приведена на рисунке 1. Анализ входных и выходных параметров позволяет констатировать, что математическая модель должна включать следующие взаимосвязанные блоки расчета:

1. Состав агломерата.
2. Шлакового режима.
3. Газодинамического режима.
4. Теплового режима.

Указанные на рисунке 1 блоки охватывают основные явления, свойственные доменному процессу.

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.

Условно модель можно разделить на две части – модель базового состояния и прогнозирующую модель.

Модель базового (эталонного) состояния позволяет оценивать состояние процесса по фактическим усредненным показателям за базовый (эталонный) период работы печи. При этом используется фактически доступная информация о работе печи: параметрах шихты, комбинированного дутья, колошникового газа и продуктов плавки и др. Прогнозирующая же модель с использованием результатов, полученных с помощью модели базового (эталонного) состояния, позволяет оценить показатели доменного процесса в случае изменения видов и свойств железорудного сырья, кокса, флюсов, дутьевых параметров. Используемый принцип позволил построить модель доменного процесса, предназначенную для решения сформулированных выше задач и обладающую свойствами адаптируемости к конкретным условиям функционирования системы с учетом существующей информации о параметрах доменной плавки.

Необходимость блока «Настройка» в структуре модели, включающего подсистемы «Нормативно-справочная информация»; «Корректировочные коэффициенты»; «Настройка диагностики» обусловлена требованиями настройки модели на конкретные условия функционирования системы. Производительность доменных печей и удельный расход кокса определяют основные технико-экономические показатели доменной плавки. Показано, что в рамках решаемых в работе задач достаточно для учета влияния свойств железорудного сырья, кокса и параметров комбинированного дутья использовать нормативные коэффициенты расчета расхода кокса и производительности печи. Такой анализ выполняется при сопоставлении периодов работы доменных печей с различными значениями технологических параметров доменной плавки, определяющих величины удельного расхода кокса и производительность. В основе этого анализа лежат количественные соотношения между изменившимися параметрами (факторами) и удельным расходом кокса (производительностью доменных печей). В связи с этим подсистема теплового режима на рисунке 1 не показана.

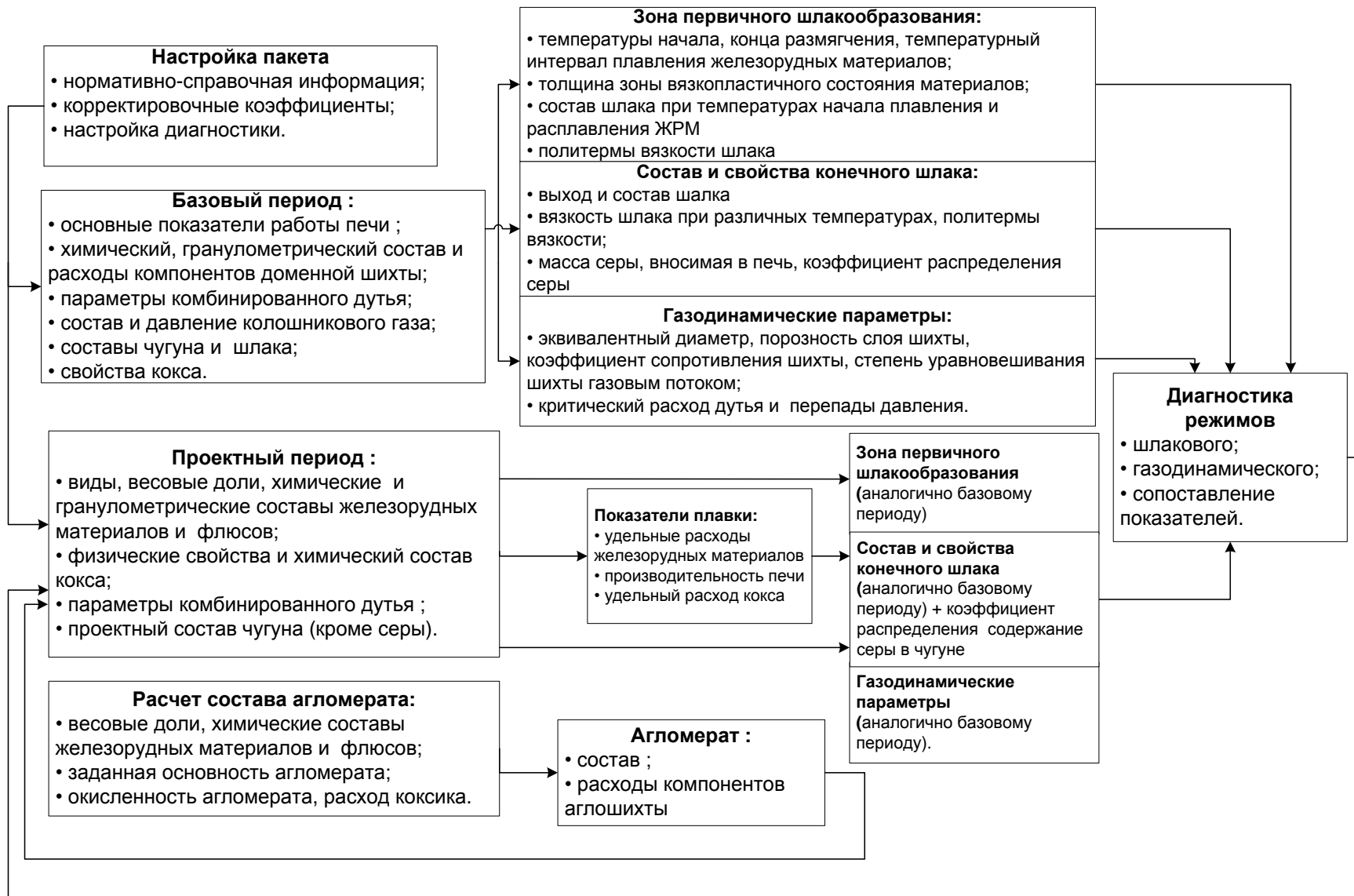


Рисунок 1 – Структура модели выбора состава железорудного сырья и флюсов

В модели предусмотрена возможность учета следующих свойств железорудных материалов: химического состава; гранулометрического состава, восстановимости, прочности при восстановлении (метод RDI) и температур:

- начала плавления (размягчения), соответствует началу усадки – температуре образования первых порций жидких фаз;
- плавления (расплавления), соответствует температуре появления подвижного шлакового расплава.

Оценка физико-химических и физико-механических свойств кокса осуществлялась по: техническому составу; гранулометрическому составу; прочности кокса: «холодная» (показатели M25, M40, M10) и «горячая» (CSR); реакционная способность кокса (показатель CRI). При разработке модели учитывалось, что между реакционной способностью кокса и его «горячей» прочностью существует тесная корреляционная связь – увеличение реакционной способности кокса приводит к снижению «горячей» прочности кокса.

Программное обеспечение расчета оптимального состава шихт в аглодоменном производстве разработано для управления технологией инженерно-технологическим персоналом доменного цеха, исследовательских центров металлургических предприятий. Программное обеспечение является веб-приложением, разработанным на языке программирования C# [7] с использованием технологии ASP.NET Core [8] в среде Microsoft Visual Studio 2017. Для работы пользователя требуется веб-браузер с поддержкой технологий HTML 5, CSS 3, Javascript, приема и передачи Cookie. Развертывание системы требует наличие веб-сервера IIS и .NET Framework 4.6, СУБД Microsoft SQL Server, Microsoft Excel версии 2010 (или выше). Структура системы включает комплекс информационно связанных интерактивных (диалоговых) web-страниц, реализующих следующие функции:

- формирования набора данных о фактических параметрах работы доменной печи (или цеха в целом);
- определения комплекса расчетных параметров и оценку состояния процесса в базовый период;
- формирования набора данных о работе доменной печи (цеха в целом) при планировании производства, прогноза изменения показателей работы отдельных печей и цеха в целом;
- определения комплекса расчетных параметров состояния процесса при колебаниях топливно-сырьевых условий их работы, а также при изменении параметров плавки и требований, предъявляемых к химическому составу продуктов плавки;
- подбор оптимального соотношения долей агломерата ПАО «ММК» и одного из видов привозных окатышей (из выпадающего списка выбирается материал, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака);
- подбор расхода одного из видов флюсующих материалов (из выпадающего списка выбирается вид флюса, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака).

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

Проект 1. Прогнозирование производительности, расходов кокса и 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 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 прогноз-

ная производительность доменной печи. Удельный расход кокса и производительность печи для проектного периода определяются по корректировочным коэффициентам, определяемым из модели доменного процесса;

– 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;

- дутьевых и газодинамических параметров доменной плавки.

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

- свойств конечного шлака по допустимым значениям вязкости при различных температурах, хода политерм 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. Результатом расчета является определение требуемого состава агломерационной шихты, в частности, расходов железорудных компонентов, коксика, флюсов).

Оптимальный состав доменной (агломерационной) шихты. Математически решение этой задачи сводится к нелинейному математическому программированию. В программном обеспечении предусмотрены следующие варианты целевых функции:

– минимум вязкости доменного шлака конечного состава при заданной температуре; минимум содержания серы в чугуне;

– минимум удельного расхода кокса и максимум производительности;

– свертка указанных критериев с возможностью настройки весовых коэффициентов.

Дополнительно вводятся следующие ограничения, при этом задаются коридоры значений:

– вязкости шлака при его заданной температуре и содержании серы в чугуне;

– основности агломерата и шлака;

– степени уравнивания шихты;

– весовых долей отдельных компонентов доменной и агломерационной шихты, расхода флюсующих добавок, при этом учитывается, что сумма весовых долей железорудной части шихты равна единице.

При формировании набора данных о работе печи в базовом периоде исходная информация о параметрах и показателях процесса автоматически считывается из базы данных. Решение задачи прогноза показателей работы печи позволяет в диалоговом режиме оценить изменение ее показателей при колебаниях топливно-сырьевых условий, а также при изменении параметров плавки и требований, предъявляемых к химическому составу продуктов плавки.

Опытно-промышленная эксплуатация программного обеспечения на ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» свидетельствует о корректности используемого вычислительного алгоритма, возможности адаптации модели и настройки пакета на конкретные

условия функционирования системы. Внедрение современной информационно-моделирующей системы позволило повысить эффективность принятия решений инженерно-техническим персоналом цеха в условиях нестабильности состава и качества проплавляемого железорудного сырья, топливно-энергетических ресурсов и изменениях в конъюнктуре рынка. Разработанное программное обеспечение при соответствующей адаптации можно рекомендовать для управления технологией доменной плавки в реальном времени, для создания автоматизированных рабочих мест инженерно-технического персонала, решения комплекса стратегических задач при планировании производства, поставок железорудного сырья, топлива, оптимального управления энергоресурсами для металлургических предприятий России.

Библиографический список

1. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.
2. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
3. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спиринов, В.Л. Терентьев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
4. Спиринов Н.А. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спиринов, Ю.В. Ипатова, В.И. Лобанов [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
5. Спиринов Н.А. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, С.И. Паршаков, С.Г. Денисенко; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. – 307 с.
6. Спиринов Н.А. Теплообмен и повышение эффективности доменной плавки / Н.А. Спиринов, Ю.Н. Овчинников, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1995. – 243 с.
7. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. 6-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1311 с.
8. Фримен А. ASP.NET MVC 4 с примерами на C# 5.0 для профессионалов. – М.: Вильямс, 2013. – 688 с.

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА

Трофимов В.Б.

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

Важнейший продукт черной металлургии – чугун, выплавляемый в доменных печах, используемый для передела при производстве стали (передельный чугун) и как компонент шихты при вторичной плавке в чугунолитейном производстве (литейный чугун). В передельном чугуне марки П1 и П2 массовая доля кремния должна быть от 0,5 % до 0,9 % (ГОСТ 805-95).

Содержание кремния в чугуне на выпуске из печи является индикатором теплового состояния горна доменной печи и стабильности процесса доменной плавки (с увеличением нагрева печи наблюдается возрастание содержания кремния в чугуне), поэтому задача исследования рядов данных о содержании кремния в чугуне является актуальной.

Постановка задачи.

Исходные данные и условия задачи.

1. Описание действующей информационно-управляющей системы доменной печи № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК», экспертной системы диагностики хода доменной печи.
2. Метод контрольных карт Шухарта [1, 2].
3. Натурные данные содержания кремния в чугуна, полученные в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (рисунок 1) за один год.

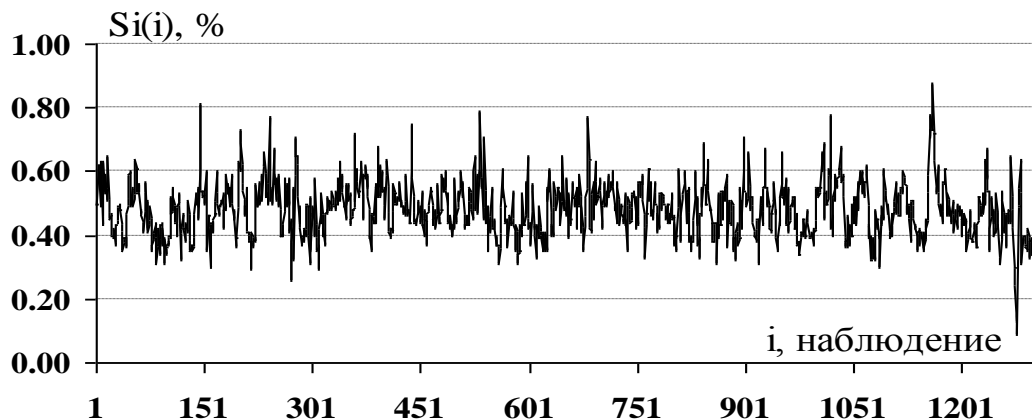


Рисунок 1 – Содержание кремния в чугуна в % (фрагмент данных за январь, февраль, март)

4. ГОСТ Р 50779.42-99 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта», ГОСТ Р 50779.40-96 «Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение».

Требуется построить и исследовать контрольные карты по содержанию кремния в чугуна.

В качестве средней линии контрольной карты используем среднее значение выборочных средних арифметических по формуле:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{X}_i .$$

Контрольные карты по содержанию кремния в чугуна за октябрь, ноябрь и декабрь представлены на рисунке 2.

Для нахождения контрольной верхней (UCL) и нижней (LCL) границ используем соответственно следующие формулы:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} ,$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} ,$$

где A_3 – коэффициент, зависящий от объема выборки (ГОСТ Р 50779.42-99);

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \text{ – среднее стандартное отклонение.}$$

Для интерпретации контрольных карт использовали правило Шухарта – выход точки за контрольные границы (пределы), что указывает на то, что произошло вмешательство в процесс, причину которого необходимо выявить (наличие специальных причин вариабельности). Наличие таких точек указывает на нестабильность процесса (рисунок 3) и требует выработку корректирующих воздействий.

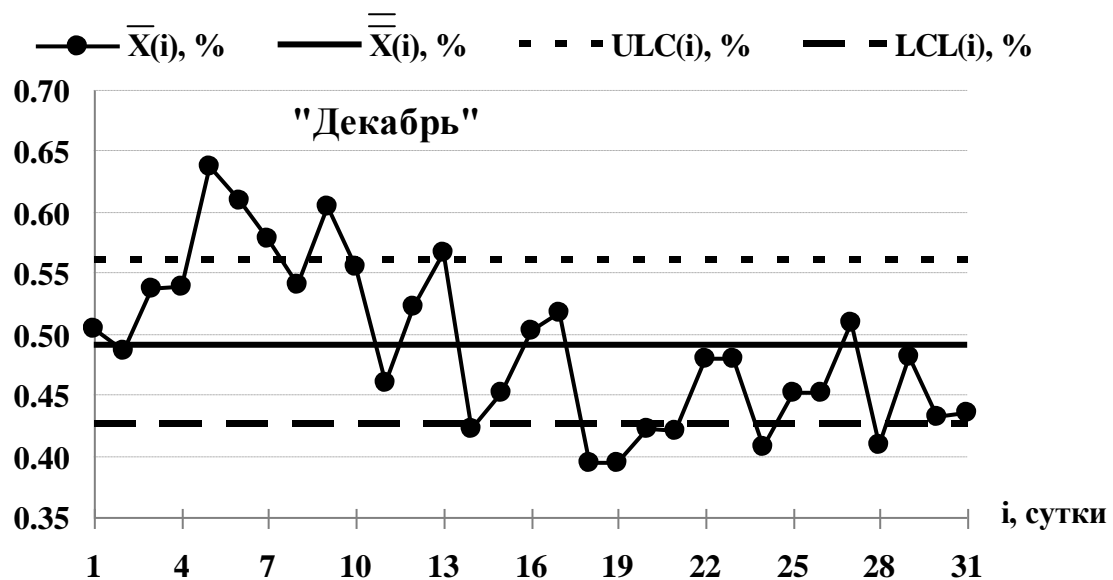
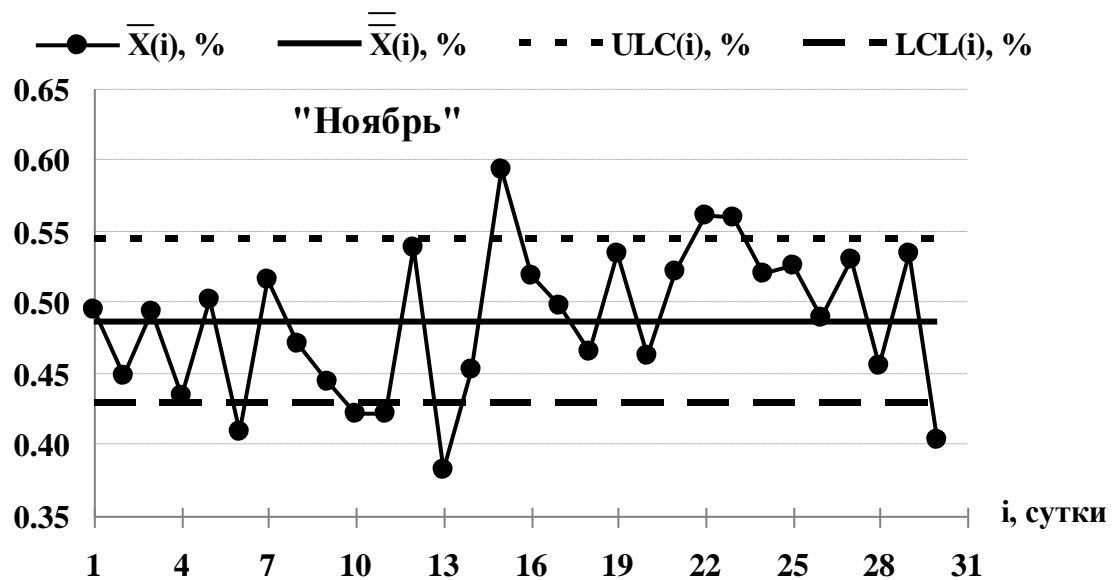
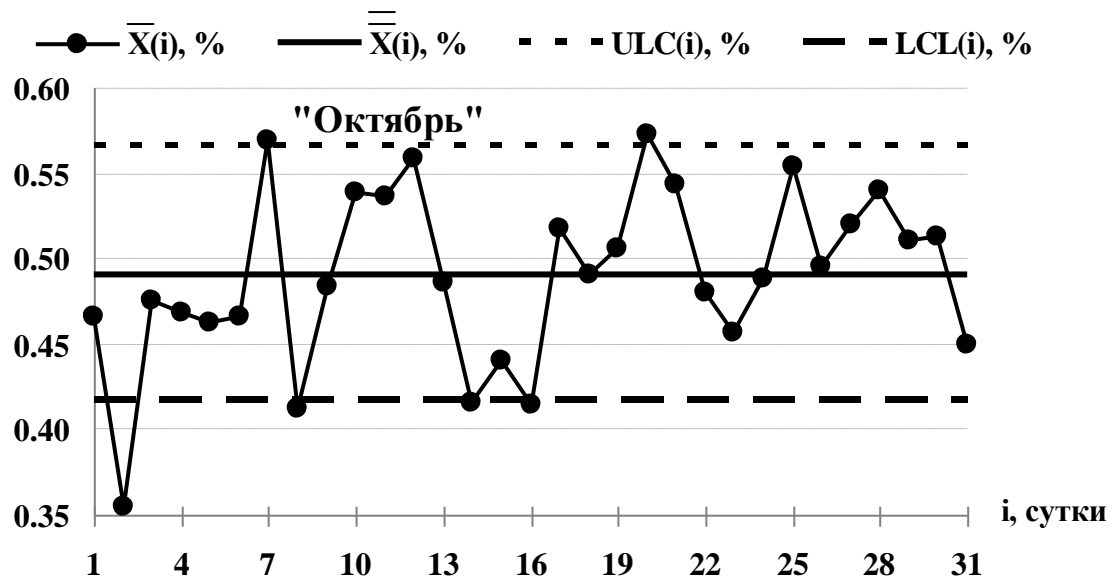


Рисунок 2 – Контрольные карты по содержанию кремния в чугуне

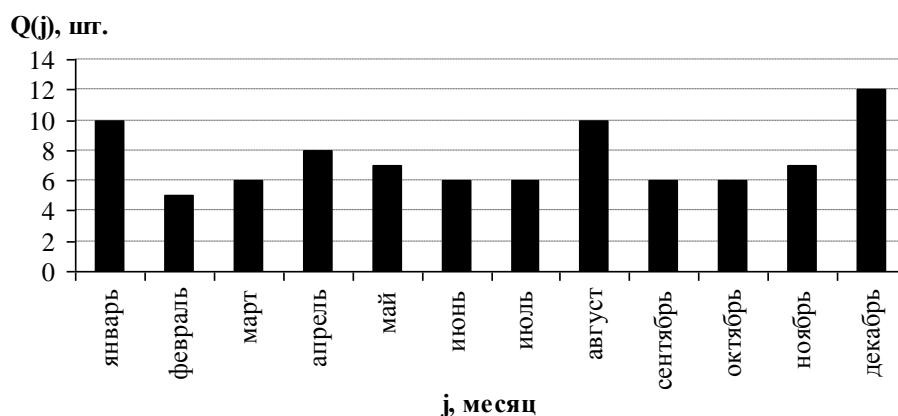


Рисунок 3 – Диаграмма количества точек, выходящих за контрольные границы

Контрольные карты можно использовать:

- как сигнал о том, что в процессе произошло некоторое изменение, так и в качестве оценки величины изменения, для которого требуется коррекция;
- исключительно как сигнал о том, что в процессе произошло некоторое изменение, чтобы доменщик осознал, что процесс требует его внимания;
- для получения оценок числа случаев в прошлом, когда в процессе возникали изменения, и установления на их основе причин, вызывающих эти изменения;
- как меру качества продукции для классификации по периодам.

Предлагаемый подход расширяет функциональные возможности действующей информационно-управляющей системы доменной печи № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Библиографический список

- 1 Куме Х. Статистические методы повышения качества / Под ред. Х. Кумэ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
- 2 Адлер Ю.П. Проблемы применения методов статистического управления процессами на отечественных предприятиях / Ю.П. Адлер, С.Ф. Жулинский, В.Л. Шпер // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 8. – С. 36–40.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ДЛЯ ПЕРЕПЛАВКИ МЕДНЫХ КАТОДОВ

Швыдкий В.С., Фатхутдинов А.Р., Спирин Н.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Шахтная печь Asarco – слоевой агрегат, предназначенный для переплавки медных катодов и входящий в состав линии по производству медной катанки ЗАО «СП Катур-Инвест» (с 2016 года – ПМК ОАО «Уралэлектромедь»).

Печь представляет собой шахту, футерованную огнеупорным карбидокремниевым кирпичом (рис.1). Загрузка материала осуществляется сверху через загрузочное окно при помощи скипового подъемника, удаление расплава происходит по наклонной лещадке через выпускную летку. Нагрев и плавление металла в печи выполняется за счет сгорания природного газа в трех рядах радиально расположенных газогорелочных устройств. Далее расплав поступает через соединительный желоб в печь-миксер, а из него по литейному желобу в литейную ванну и далее в литейную машину.

Управление тепловой работой печи с момента запуска в эксплуатацию осуществлялось вручную оператором по показателям производительности, температуры расплава и соб-

ственном экспертном опыте. Производительность печи определяется по положению печи-миксера, температура металла – по показаниям датчика, установленного в литейной ванне.

Ручное управление тепловой работой печи обладало рядом недостатков:

1. Качество управления целиком зависело от оператора, а именно от его опыта, дисциплины и интуиции.

2. Ошибочные или несвоевременные действия оператора приводили к серьезным колебаниям производительности, вплоть до аварийных и предаварийных ситуаций, связанных либо с избытком расплава, либо с его недостаточностью.

3. Нестабильная тепловая работа печи приводила к повышенному расходу топлива и, как следствие, к понижению показателей энергоэффективности линии по производству медной катанки.

4. Значительные колебания потока расплава приводили также к колебаниям температуры расплава при литье и содержанию в нем кислорода, что негативно сказывалось на качестве готовой продукции.

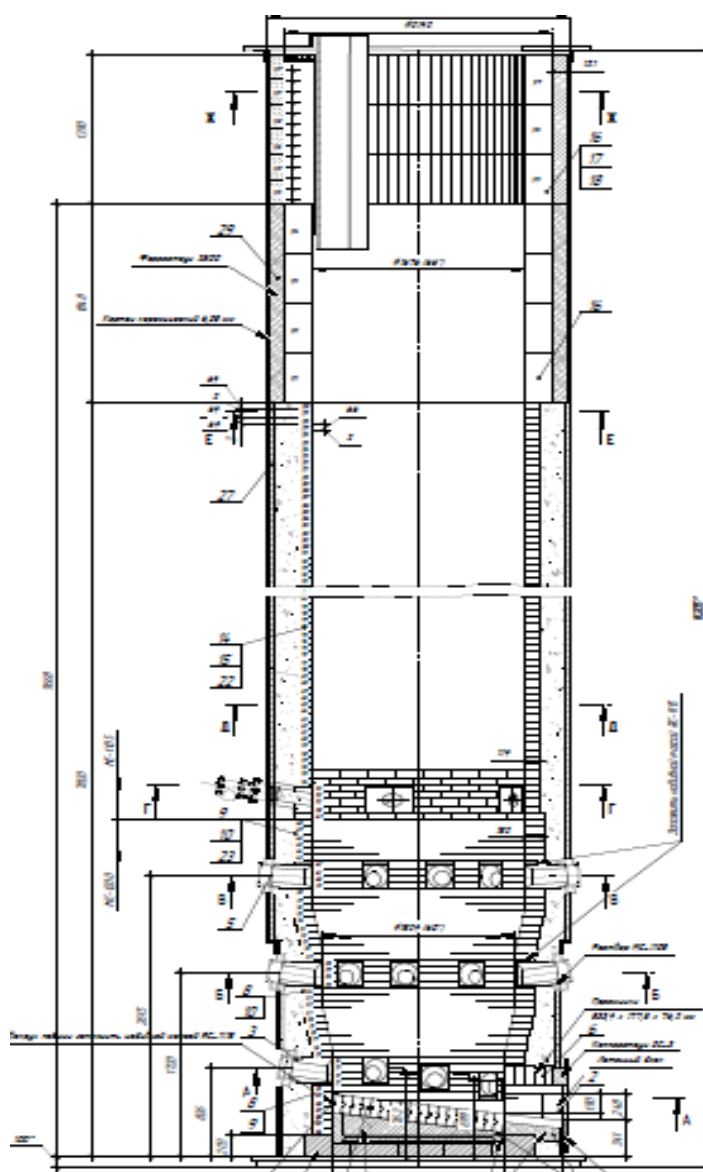


Рисунок 1 – Шахтная печь для переплавки медных катодов

Первая попытка автоматизировать процесс управления тепловой работой шахтной печи Asarco была предпринята в 2014 году на основе ординарного ПИД-регулятора.

Разработанная система, целиком опирающаяся на закон ПИД-регулирования, при опытной эксплуатации не оправдала себя. Основная причина – большое время запаздывания между управляющим воздействием (корректировка расхода газа) и изменением управляемого технологического параметра (положение печи-миксера).

Большая инертность и запаздывание в системе приводила к неудовлетворительным показателям качества управления, как следствие, автоколебаниям. В совокупности с рядом неконтролируемых возмущений на систему, таких как неравномерная загрузка шихтовых материалов, изменение типа шихты, случайное расположение медных катодов внутри шахты при загрузке и др., сводила к нулю все попытки повышения качества автоматического управления тепловой работой шахтной печи на основе ПИД-регулирования. При этом случае в автоматическом режиме показатели работы печи были даже хуже, чем при ручном управлении.

Негативный опыт применения ПИД-регулятора тепловой работы шахтной печи потребовал использования математической модели процессов теплообмена и газодинамики в контуре управления. В этом случае появляется возможность использовать не только текущее контролируемое значение управляемого параметра, а его прогнозируемое значение, определяемое по математической модели процесса.

Таким образом, для автоматического управления тепловой работой шахтной печи требовалась математическая модель, которая, основываясь на архивных и текущих значениях параметров технологического процесса, прогнозировала бы производительность печи по металлу вперед, на определенное опытным путем, время памяти объекта.

Теоретические основы и уравнения математической модели процессов теплообмена и газодинамики в шахтных печах с плавлением материалов представлены в работах [1-3]. При разработке алгоритмического и программного обеспечения использовалась методология математического моделирования металлургических процессов и принципы построения и реализации пакетов прикладных программ в АСУ ТП, представленные в работе [4].

Разработка и внедрение автоматической системы управления тепловой работой шахтной печи Asarco были произведены в IV этапа.

Этап I. Проведение технических экспериментов на действующем оборудовании и анализ архивов параметров технологического процесса. На данном этапе эмпирическим путем были определены основные коэффициенты для математической модели, а также времена запаздывания для каждого ряда газогорелочных устройств.

Этап II. Разработка дискретного аналога математической модели и его верификация. Разработка программного обеспечения математической модели выполнялась в среде VBA. На этом этапе математическая модель была максимально упрощена без весомой потери точности расчетов. Верификация модели выполнялась путем обработки массива реальных данных, выгруженных из АСУ ТП шахтной печи. Для повышения адекватности математической модели выполнена адаптивная идентификация параметров по фактически условиям теплообмена в рабочем пространстве печи и контролируемым выходным параметрам [4].

Этап III. Программная реализация, инсталляция и опытно-промышленная эксплуатация системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи. Разрабатываемая информационная система была встроена в существующую АСУ ТП шахтной печи Asarco на базе ПЛК Siemens S7-400 и SCADA WinCC. Структура системы представлена на рисунке 2.

Представленная система работает следующим образом. Розжиг печи и ее вывод на заданную производительность выполняется оператором в ручном режиме. После этого оператор должен проработать в более или менее стационарном режиме работы не менее 1 часа для набора статистических параметров для расчета коэффициентов модели.

При этом как расчетный модуль математической модели, так и модуль самокоррекции функционируют в фоновом режиме, подстраиваясь под фактические параметры технологического процесса и соответствующие условия теплообмена в рабочем пространстве печи (температура и равномерность загрузки, тип шихты, тип подшихтовки, потери тепла на нагрев футеровки после холодного простоя и т.д.).

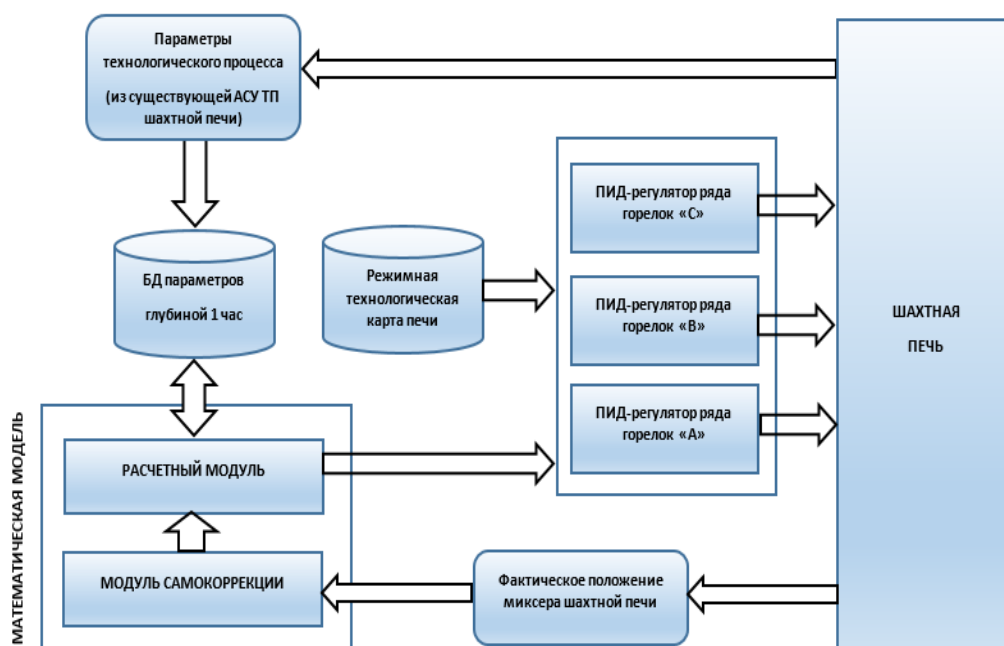


Рисунок 2 – Структура системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи Asarco

После перевода печи в автоматический режим работы прогнозируемые положения печи-миксера (выходы математической модели) через 5, 20 и 40 минут соответственно для рядов горелок А, В и С подаются на входы программных ПИД-регуляторов для каждого и из вышеуказанных рядов. Выходом ПИД-регуляторов является прибавка, в том числе и отрицательная, к текущему расходу природного газа на ряд горелок, который, в свою очередь, регулируется в диапазоне, определенном режимной картой печи.

Главная мнемосхема системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи представлена на рисунке 3. Окно трендов технологических параметров системы представлено на рисунке 4. На рисунке 5 представлен участок трендов положения печи-миксера в увеличенном масштабе, где хорошо просматривается процесс самокоррекции модели (серый цвет – прогноз положения печи-миксера, черный цвет – фактическое положение, красный цвет – заданное положение).

Этап IV. Промышленная эксплуатация и анализ работы. После приемки системы в промышленную эксплуатацию работы по дальнейшей настройке системы не прекратились. Набранный массив статистических данных позволял провести более глубокий анализ работы системы и откорректировать параметры для достижения оптимальных параметров ведения технологического процесса.

Для оценки эффективности работы системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи технологами ПМК ОАО «Уралэлектромедь» были выбраны 2 основных критерия:

- удельных расход природного газа на тонну готовой продукции, $\text{нм}^3/\text{т}$;
- удельное количество «зависаний» шихты, шт/т.

Справочно: «зависание» шихты – результат неравномерного плавления медных катодов, который сопровождается резким снижением производительности печи по плавлению и повышением температуры расплава. Кроме того, при «зависании» шихты увеличивается расход природного газа, и, как следствие, снижаются удельные показатели энергоэффективности линии по производству медной катанки.

Результаты сравнения средних значений, приведенных выше критериев для смен со 100 %-ой работой в автоматическом режиме и смен со 100 %-ой работой в ручном режиме за 1 квартал 2017 года приведены на рисунке 6.

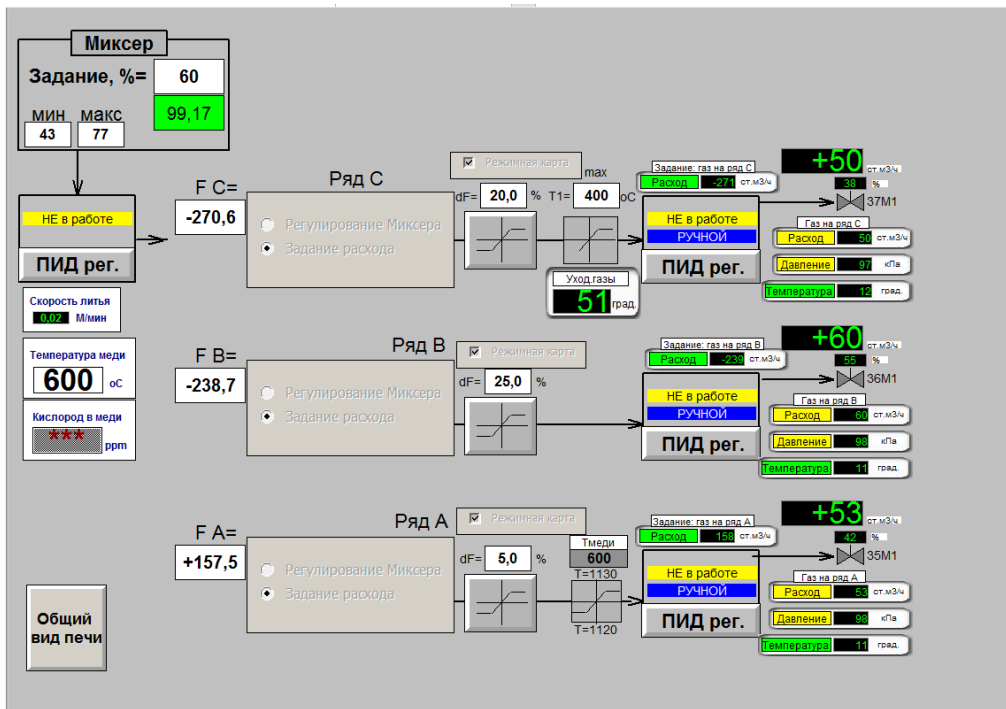


Рисунок 3 – Главная мнемосхема системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи



Рисунок 4 – Окно трендов технологических параметров

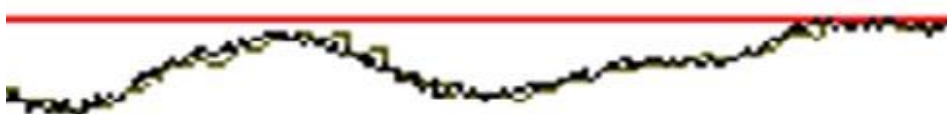


Рисунок 5 – Тренды положения печи-миксера



Рисунок 6 – Сравнение критериев эффективности работы системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи за 1 квартал 2017

Как видно из рис.6 в автоматическом режиме печь имеет более стабильный характер работы, сопровождающийся снижением удельного расхода топлива.

Заключение

По результатам промышленной эксплуатации системы автоматического управления тепловой работой шахтной печи можно сделать следующие основные выводы:

- разработанная система позволяет вести технологический процесс плавления медных катодов в автоматическом режиме;
- использование в системе управления адекватной математической модели процессов тепломассообмена и газодинамики в шахтной печи с плавлением материалов, основанной на универсальных законах сохранения, физико-химических закономерностях процессов, существенно повышает качество управления;
- автоматический режим управления тепловой работой печи позволяет получить более стабильные параметры технологического процесса, что непосредственным образом влияет на качество готовой продукции и повышает показатели энергоэффективности производства;
- имеется два основных пути для совершенствования системы: более тонкая настройка ПИД-регуляторов для различной производительности линии и различного типа шихты, а также разработка и внедрения модуля управления температурой расплава.

Библиографический список

1. К математическому моделированию шахтных печей с плавлением материалов / В.С. Швыдкий, А.Р. Фатхутдинов, Е.А. Девярых, Т.О. Девярых, Н.А. Спиринов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 6. С. 424-430.
2. К математическому моделированию слоевых металлургических печей и агрегатов. Сообщение 1 / В.С. Швыдкий, А.Р. Фатхутдинов, Е.А. Девярых, Т.О. Девярых, Н.А. Спиринов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 9. С. 634-638.
3. К математическому моделированию слоевых металлургических печей и агрегатов. Сообщение 2 / В.С. Швыдкий, А.Р. Фатхутдинов, Е.А. Девярых, Т.О. Девярых, Н.А. Спиринов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 1. С. 19-23.
4. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилева, А.В. Краснобаев, В.С. Швыдкий, О.П. Онорин [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. - Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014. - 558 с.

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ НАСОСА ОТ КАВИТАЦИИ НА ОСНОВЕ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА ТОКА СТАТОРА ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Герасимук А.В., Кипервассер М.В., Симаков В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Одними из наиболее часто используемых на предприятиях различной технологической направленности являются центробежные насосные установки [1]. Такие насосные установки широко используются в различных отраслях промышленности и жизнеобеспечения: в системах водоотведения шахт, рудников, карьеров, в городских насосных станциях (горячее и холодное водоснабжение, канализация), на ТЭЦ, ГРЭС, АЭС (циркуляционные, питательные, конденсатные и др. насосы), на заводах нефтехимической, металлургической, пищевой промышленности для перекачки различных жидкостей.

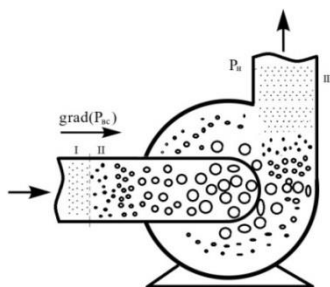
В ряде случаев центробежные насосы являются особо ответственными агрегатами. К таким относятся насосы систем водоснабжения городов, циркуляционные насосы контуров АЭС, водоотлив горнодобывающих предприятий, насосы систем охлаждения доменных печей. Высокие требования к надёжности и бесперебойности работы обуславливают необходимость разработки и конструирования систем защиты насосных установок от ненормальных и аварийных режимов работы.

Целесообразно, что бы система защиты имела в своём составе минимальное количество элементов, в особенности - датчиков. В существующих схемах контроля и защиты датчики являются наиболее уязвимыми элементами системы с точки зрения выхода из строя.

Требованию минимизации количества элементов может отвечать система, созданная на базе метода косвенной диагностики работы оборудования – контроля тока статора приводного двигателя. Такая система в своём составе будет иметь только само устройство защиты (на базе микропроцессорного терминала или какого-либо другого электронного устройства) и измерительный преобразователь.

Одним из наиболее опасных для центробежных насосных агрегатов является режим кавитации. Кавитация – это нарушение сплошности жидкости, происходящее на участках потока, где давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения [2]. При засасывании насосом жидкости из резервуара давление во всасывающем трубопроводе $P_{вс}$ падает ниже атмосферного [3].

На рисунке 1 показано возникновение кавитации в насосе. В трубопроводе имеет место градиент давления. В начале трубопровода давление близко к атмосферному, а чем ближе к насосу - тем больше разрежение. По мере продвижения жидкости в насос её давление может стать меньше давления насыщенных паров жидкости при данных условиях.



I – зона пониженного давления без кавитации; II – зона пониженного давления с кавитацией; III – зона повышенного давления

Рисунок 1 – Процесс кавитации жидкости в насосе

В этом случае происходит холодное вскипание жидкости. Одновременно с этим происходит выделение из жидкости растворённого газа. Образуются пузырьки, заполненные насыщенным паром. Чем ниже падает давление, тем более увеличиваются в объёме пузырьки, превращаясь в большие пузыри-каверны. Далее, пузыри уносятся в зону высокого давления (давления нагнетания) P_H , начинающуюся на выходе из колеса насоса, где моментально исчезают вследствие конденсации заполняющих их паров. Таким образом, в потоке создаётся довольно чётко ограниченная кавитационная зона. Это явление характеризуется вибрациями и шумами. При сильном развитии кавитации возможен срыв потока и прекращение работы насоса [1, 2].

При схлопывании каверн, находящихся на поверхности рабочего колеса и улитки насоса, происходит силовое воздействие - гидроудар. При этом, развивается давление, величина которого имеет значения, превосходящие предел текучести материалов колеса и улитки. Длительное воздействие кавитации приводит к разрушению насоса.

Известно, что момент сопротивления на валу двигателя, который создаёт насос, можно определить по следующей формуле [2, 4]:

$$M_c = \frac{30}{\pi n} \frac{Q \rho g H}{\eta}, \quad (1)$$

где Q – подача насоса, м³/ч;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

H – напор насоса, м;

η – К.П.Д. насоса,

n – частота вращения насоса, об/мин.

Так же, известно, что при уменьшении кавитационного запаса насоса падает его напор и уменьшается КПД, что подтверждается изломом экспериментального графика, приведённого в [1, 3] (зона II).

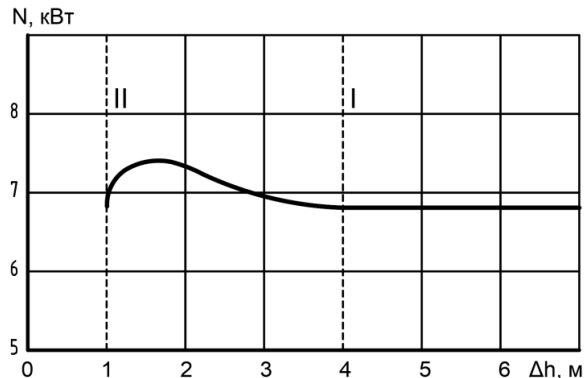


Рисунок 2 – Зависимость механической мощности потребляемой насосом, в зависимости от кавитационного запаса

Как видно из графика, по мере уменьшения кавитационного запаса, мощность, потребляемая насосом, сначала, несколько увеличивается, а затем резко падает, до значений близких к значениям сухого хода, так как при полностью разывшейся кавитации происходит срыв потока и насос перестаёт перекачивать жидкость [1, 3].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что ток приводного электродвигателя насоса будет изменяться в соответствии с изменением нагрузки на его валу [5, 6].

Для подтверждения этого предположения в среде MatLAB Simulink было проведено моделирование работы насосной установки в режиме кавитации.

В качестве модели насосной установки использовался агрегат в составе насоса АД4000-95-2-С (подача 4000м³/ч, напор 95м) и синхронного явнополюсного электродвигателя СДН 2-16-59-6У3 (1600 кВт, 1000 об/мин, 6кВ). Модель двигателя реализована на двухфазной системе уравнений Парка - Горева [7].

$$\left\{ \begin{array}{l}
i_a = i_d \cos \gamma - i_q \sin \gamma \\
i_b = i_d \cos \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) - i_q \sin \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) \\
i_c = i_d \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) - i_q \sin \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) \\
U_d = \frac{d\psi_d}{dt} - \omega \psi_q + r_1 i_d \\
U_q = \frac{d\psi_q}{dt} - \omega \psi_d + r_1 i_q \\
U_f = \frac{d\psi_f}{dt} + r_f i_f \\
0 = \frac{d\psi_{yd}}{dt} + r_{yd} i_{yd} \\
0 = \frac{d\psi_{yq}}{dt} + r_{yq} i_{yq} \\
M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \\
M = \psi_d i_q - \psi_q i_d \\
\omega_1 - \omega = \frac{d\theta}{dt}
\end{array} \right. \quad (2)$$

где i_a, i_b, i_c – фазные токи статора, А;

U_d, U_q – напряжения на зажимах обмотки статора по продольной и поперечной осям; Ψ_d, Ψ_q, i_d, i_q – соответственно потокосцепления и токи обмоток фаз статора по продольной и поперечной осям;

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;

$\Psi_{yd}, \Psi_{yq}, i_{yd}, i_{yq}$ – соответственно 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;

γ – угловое положение ротора.

Система уравнений (4) достоверно описывает работу синхронного двигателя при симметричном режиме питания, применима к рассматриваемому случаю и реализована в виде стандартного блока из библиотеки Simulink/Simscape/SimPowerSystems.

Функциональная схема модели насосной установки в режиме кавитации приведена на рисунке 3.

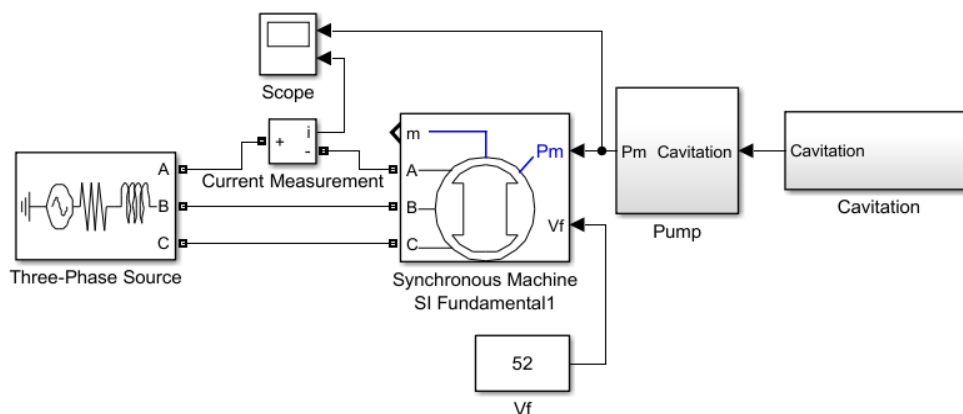


Рисунок 3 – Функциональная схема модели насосной установки в режиме кавитации

Результаты моделирования работы насосной установки при возникновении явления кавитации приведены на рисунке 4.

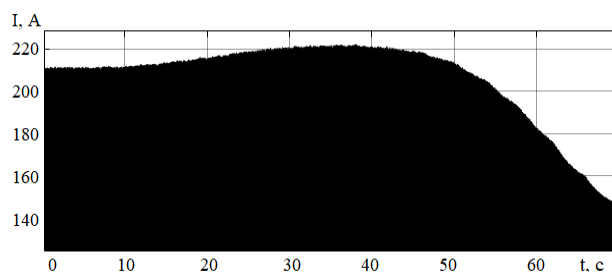


Рисунок 4 – Диаграмма тока фазы статора приводного двигателя насоса, работающего при кавитации

Диаграмма тока статора, как и ожидалось, повторяет своим видом график нагрузки на валу двигателя при кавитации.

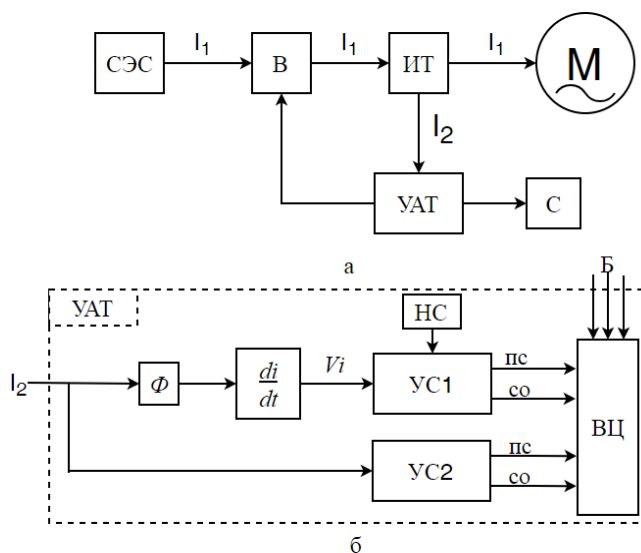
Кавитацию, которая только начала развиваться, по току статора засечь технически сложно, так как некоторое возрастание тока статора на начальном участке зоны II рисунка 3 будет практически неотличимо от возрастания тока, вызванного, увеличением момента на валу вследствие технологической перегрузки. Однако, наиболее опасную развившуюся кавитацию можно выявить этим методом. Быстро развивающаяся кавитация вызывает падение мощности нагрузки на валу двигателя, а значит - и изменение фазного тока статора. В этом случае, кавитацию можно идентифицировать по скорости изменения действующего значения тока статора. Чем быстрее развивается кавитация, тем быстрее падает ток статора. Кавитацию, которая развивается медленно, можно засечь методом сравнения тока статора в нормальном режиме работы насоса с током в режиме кавитации.

На рисунке 5 представлена предлагаемая функциональная схема системы защиты насосного оборудования от кавитации.

Принцип работы системы следующий: измеритель тока преобразует первичные величины тока статора в действующее значение и подаёт его в устройство анализа тока.

Устройство анализа имеет в своём составе два канала сравнения. Один канал сравнивает текущий ток статора со значением тока в нормальном режиме (задаётся в блоке уставок при наладке оборудования). Если разница между заданным током статора и измеренным не велика, то выдаётся предупредительный сигнал дежурному персоналу о ненормальном режиме работы насосной установки. Если же разница существенна, то срабатывает вторая ступень защиты – отключение насоса, если это не запрещено технологическими блокировками. Второй канал вычисляет производную от действующего значения тока статора по времени, то есть определяет скорость изменения тока статора. Фильтр отсекает высокочастотную

часть колебаний тока, вызванных помехами, толчками тока вследствие каких-либо процессов в питающей сети или любыми другими явлениями, так как они могут вызвать ложное срабатывание защиты. Полученная скорость изменения тока сравнивается с набором заданных уставок, определяющих дальнейшую работу устройства. Если скорость изменения мала, то выдаётся предупредительный сигнал дежурному персоналу о ненормальном режиме работы. Если скорость изменения высокая и ток статора быстро падает, то подаётся сигнал на отключение насоса.



СЭС – система электроснабжения, В – выключатель, ИТ – измеритель тока, УАТ – устройство анализа тока, С – сигнализация, М – электродвигатель, Ф – фильтр, НС – набор уставок, УС1, УС2 – устройства сравнения, ВЦ – выходные цепи, I_1 – первичный ток статора, I_2 – вторичный ток статора, V_i – сигнал скорости изменения действующего значения тока, со – сигнал отключения, пс – предупредительный сигнал, Б – сигналы технологических блокировок

Рисунок 5 – Функциональная схема системы защиты насоса от кавитации по току статора (а) и устройства анализа тока (б)

Предложенная система, благодаря малому количеству структурных элементов будет превосходить другие существующие системы защиты в части надежности. Кроме того, вследствие использования в качестве контрольного параметра тока статора приводного двигателя быстрдействие также будет выше, чем у существующих систем.

Библиографический список

1. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учеб. Для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.: ил.
2. Абдурашитов С.А., А.А. Тупиченков. Насосы и компрессоры. М., «Недра», 1974. 296 с.
3. Турк В.И., Минаев А.В., Насосы и насосные станции. Учеб. Для вузов. М.: Стройиздат, 1976. – 304 с.
4. Шлипченко З.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. К., «Техніка», 1976, 386 с.
5. Пугачёв Е.В. Кипервассер М.В. Герасимук А.В. Исследование воздействия помпажа турбокомпрессора на энергетические характеристики приводного двигателя. Вестник КузГТУ: научно-технический журнал / Куз. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2016
6. Пугачёв Е.В. Кипервассер М.В. Инжелевская О.В. Методика автоматического распознавания аварийных ситуаций оборудования компрессорных станций. Вестник КузГТУ: научно-технический журнал / Куз. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2011 – С. 51-55
7. Электрические машины (специальный курс) / Г.А. Сипайлов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 77–88.

УПРАВЛЕНИЕ СТОЙКОСТЬЮ СВАРНОГО УЗЛА К ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

Веровкин В.И.¹, Веровкин С.В.²

¹*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота Калининградского государственного технического университета,*

г. Калининград, Россия

²*Институт физико-математических наук и информационных технологий*

Балтийского федерального университета им. И. Канта,

г. Калининград, Россия

Под стойкостью материального объекта (в том числе – сварного узла металлоконструкции) к электрохимической коррозии (ЭХК) понимают его способность выдерживать отрицательное воздействие ЭХК, не подвергаясь разрушению, либо существенному снижению своих геометрических размеров и иных физико-химических свойств, и в результате – длительно сохранять свое работоспособное состояние. Таким образом, стойкость сварного узла – это векторный комплексный показатель состояния (параметр состояния) сложного объекта – сварного узла.

При управлении стойкостью сварного узла к ЭХК воздействуют на способность, на свойства, на внутреннее состояние физического объекта, а также на условия его эксплуатации. Для успешного управления стойкостью требуется решить проблему легкой оперативной, надежной и простой её оценки.

Ранее нами было предложено оценивать стойкость сварного узла к ЭХК, вызываемой физическим действием электрического тока на электропроводный материал в электропроводной жидкой среде, по разности термоэлектродвижущих сил (ТЭДС) термопары, состоящей из свариваемых в узел материалов [1]. При подборе листов карт – полотнищ, из которых далее сваривается обшивка судна – оценивается ТЭДС каждого данного листа в контакте с каждым из оставшихся листов. В результате ранжировки ТЭДС в карту сваривают листы, обеспечивающие меньшую ТЭДС. Тем самым обеспечивается максимально возможная стойкость всех сварных узлов обшивки к ЭХК. Главный недостаток предложенного признака – большая трудоемкость его применения. Это связано с тем, что сам признак носит дифференциальный характер и для своей реализации требует экспериментального перебора и измерений ТЭДС очень большого числа сочетаний листов карт.

Чтобы резко сократить число опытов по подбору листов в картах, предлагается априорная потенциометрия – экспериментальное измерение потенциала материала каждого листа. Это во много раз меньше перебора возможных вариантов (сочетаний) листов в картах. Измеряют потенциалы листов в паре со свинцовым электродом (свинцовый электрод обладает нулевым потенциалом). А затем ищут лучшие варианты компоновки карт с минимальными разностями потенциалов в термопарах, образующих листами, входящими в сварное соединение.

Приведенные способы компоновки карт касаются процесса программного управления повышением стойкости сварных узлов к ЭХК. К ним также относятся обоснование и выбор рациональных: рода, типа, марки основных и сварочных материалов, способов и технологии изготовления сварных соединений, режимов изготовления (заготовки, сборки, сварки, правки, отделки, улучшения, хранения, транспортировки, монтажа), оборудования. Особое значение должно придаваться обоснованности назначения способа сварки, резки, разделки кромок, режиму изготовления (резки, сварки, наплавки, термообработки).

С сожалением можно констатировать, что в настоящее время, как правило, построения потенциограмм обшивки судна при его изготовлении не делается. Требование минимизации ТЭДС сварных узлов, как основного показателя снижения стойкости сварного узла к ЭХК, в критерий рациональности выбора и обоснования программы управления не включается. Это

обстоятельство безусловно тормозит внедрение комплексных мер повышения стойкости сварных узлов металлоконструкций к ЭХК.

подавляющее большинство сталей, в том числе и судостроительных, в качестве основной технологической примеси содержат кремний. Это объясняется, прежде всего, его использованием при выплавке сталей в качестве эффективного и дешевого раскислителя. Раскисляющий эффект дополнительно усиливается при комплексном раскислении совместно с марганцем и алюминием [2].

Как показали наши исследования, сваренные или спаянные в одном месте стальные детали разного химического состава при наличии перепада температур между местом сварки (спая) и свободными концами образованной таким образом термопары могут создавать значительные термоэлектродвижущие силы (ТЭДС) [3]. При этом установлено, что около 2/3 всей ТЭДС возникает из-за перепада в электродах термопар содержания кремния. С большим отрывом далее следуют другие раскислители: углерод, алюминий и марганец.

Поскольку разброс содержания кремния в судостроительных сталях соединяемых деталей может отягощаться контактом с электропроводной морской водой, а температура внутри судна в среднем отличается от температуры воды на 20 °С, то стойкость конструкции к самой разрушительной электрохимической коррозии резко падает. Особую озабоченность по стойкости к ЭХК вызывают повышенные температуры обшивки судна.

Среди неметаллов кремний является наиболее электроположительным элементом. Соединения с неметаллами, в которых кремний выступает в качестве электроположительной составной части, для кремния наиболее характерны.

Нами экспериментально изучено влияние кремния на величину электрохимического потенциала, а также температуры и деформации кремнийсодержащих судостроительных сталей.

Каждый образец исследуемой стали спаивался в рабочем спае со свинцовым электродом, обладающим нулевым потенциалом. Измеряя разность потенциалов образованной таким образом термопары с помощью микровольтнаноамперметра Ф-136, фактически измеряли потенциал самого образца. Результаты измерений приведены на рис. 1.

Как следует из полученных результатов, электропотенциал низкоуглеродистых кремнийсодержащих судостроительных сталей при комнатной температуре зависит от содержания кремния в этих сталях, особенно в области низких содержаний кремния в сплаве. При нагревании рабочего спая до 50, а затем и 100 °С потенциал вначале меняет знак, а затем максимальное значение потенциала возрастает сначала в 10, а затем и в 15 раз! Предполагаемый максимум потенциала при нагревании рабочего спая термопары находится в районе 0,15 % Si.

Таким образом, для повышения стойкости каждого данного стального сварного узла к ЭХК требуется прежде всего не допускать в свариваемых деталях большой разности содержаний кремния. Причем с понижением содержания кремния одной из деталей в область 0,15-0,20 % Si чувствительность к ЭХК резко возрастает.

Коррозионная стойкость судостроительных конструкций зависит не только от их химического состава и температуры, но и от возникающих механических напряжений. В морских условиях многие сварные узлы подвергаются опасному коррозионному растрескиванию. Оно возникает при одновременном воздействии на металлоконструкцию, помещенную в электропроводную среду, растягивающих механических напряжений и электрического тока.

Нами установлено, что при упругом растяжении судостроительных сталей напряжение между продольной осью симметрии и поверхностью гагаринского образца падает. При достижении площадки текучести наблюдается наиболее активный слом первоначальной структуры, сложившейся системы элементарных контактов. При переходе к фазе пластической деформации напряжение растет вплоть до стадии разрушения образца.

В силу выявленных зависимостей выход за предельно допустимые режимы нагружения обшивок судов в области сварных соединений, удары корпуса судна, смещение груза и другие подобные причины могут приводить к пластической деформации узла, сопровождающейся интенсивным коррозионным растрескиванием узлов металлоконструкций.

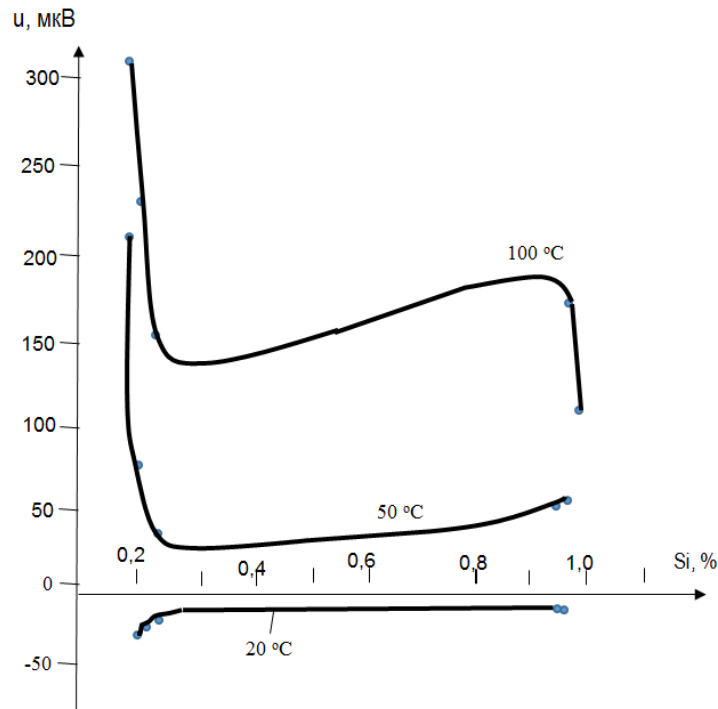


Рисунок 1 - Зависимости потенциала кремнийсодержащей судостроительной стали от содержания кремния при разных температурах рабочего спая термопары

Главной особенностью создания программы управления сложными системами является то, что сама эта задача является некорректно поставленной, а система – частично обусловленной: число определяемых неизвестных многократно превышает число связей, по которым эти неизвестные находят. Поэтому реально можно говорить лишь о поиске рациональных управлений, соответствующих некоторой частной совокупности условий функционирования системы.

Накоплен опыт разработки технологии сварки, наплавки, резки и пайки изделий при смене условий протекания металлургических процессов в "малой" металлургии. Используется многоэтапный, многоуровневый метод проектирования с обратными связями между этапами и уровнями. Подобный метод проектирования технологии широко применяется в большинстве отраслей машиностроения. Наряду с ним используются и жестко обусловленные таблично-графические процедуры прямого выбора технологии. При проектировании формируется принципиальная, маршрутная, операционная и переходная технологии. Последняя предназначена для реализации автоматами и доведена до уровня программ движения робота, станка с ЧПУ и т. п.

Ретроспективный анализ качества управления металлургическими процессами, формирование приведенной на вход объекта помехи, улучшение качества управления на уровне интегральных и среднеинтегральных значений, регулирование металлургических процессов и др. подобные функции можно выполнять с использованием восстановительно-прогнозирующей алгоритмизации (ВПА). В то же время непосредственное использование разработанных алгоритмов ВПА для ретроспективного улучшения интегральных и среднеинтегральных управлений металлургических процессов зачастую сдерживается слабой обусловленностью матрицы коэффициентов пересчетной модели объекта. Это побудило к разработке процедуры ретроспективно-оперативного восстановления рациональных длительностей технологических циклов и других наиболее значимых управляющих воздействий, позволяющую решить заданную проблему.

При проектировании технологии рациональным прецедентным методом проверяется возможность составления программы управления комбинированным способом, когда частично структурированные элементы в виде устоявшихся фрагментов программы, полученных прецедентным способом, далее включают в процедуру формализованного поиска пол-

ной структуры программы путём определения оптимального взаиморасположения элементов блоков с использованием индивидуального метода проектирования. Т.е. составление всей программы управления производится блоками, найденными из предыстории. Их программы составляются прецедентным способом, а стыковка их между собой производится методом индивидуального проектирования.

Как правило, проектирование технологического процесса напрямую (без рециклов – итераций синтеза программы управления с возвратом к ранее выполненным операциям проектирования) оказывается невозможным. Это прежде всего связано с некорректностью задачи проектирования программы управления и необходимостью введения дополнительных функциональных связей вследствие появления новой информации о проектируемом процессе и требованием ее учета на более ранних стадиях проектирования. Наложение нескольких условий и ограничений на одну и ту же область решений затрудняет поиск решения. Возникает необходимость выявления и минимизации подобных областей в пространстве состояний системы управления.

По первичным ограничениям имеет место несвязное декларированное ограничение. Как правило, первоначально ограничения устанавливаются в условиях отсутствия их взаимообусловленности. В ряде случаев какое-то ограничение способно сделать решение невозможным. В процессе же решения по обратным связям производится коррекция ограничений, смещение задачи в реализуемую допустимую область. Таким образом, задействуется процедура трансформации первичных, исходных ограничений во вторичные.

Проектирование программы управления технологическим процессом начинают с разработки самого технологического процесса. На основе анализа работы аналогичных систем управления выделяют рациональные фрагменты программ управления. Осуществляют комплексное прецедентное структурное проектирование новой программы управления. Производят расчет параметров режимов принципиальной, маршрутной, операционной и переходной технологий. Учитывают условия финансирования, требованиям по окупаемости, требования к качеству сварных узлов (требования ГОСТов, заказчика, отраслевых нормативов, ответственности конструкции и т.д.), условия эксплуатации, эффективность производства, возможности кооперации, материалы, их дефицитность, стойкость к коррозии в ожидаемых условиях эксплуатации, условия их поставки.

Особую трудность при программном управлении стойкостью сварного узла обшивки судна к ЭХК представляет стадия ремонта корабля. Поскольку в ходе ремонта химического анализа входящих в сварной узел листов обшивки практически никогда не делается, то подбор основных материалов заменяемого листа исходя из минимума ТЭДС контактирующих пар листов оказывается затруднительным. Решение этого вопроса возможно, например, с помощью экспресс-анализа деталей сварного узла металлоконструкции на переносной установке.

Отдельно отметим необходимость при построении и ремонте судна рационального подбора сварочных материалов. Так, если потенциал материала сварочного электрода будет значительно отличаться от потенциала основного материала хотя бы одной детали, то может резко понижаться стойкость сварного узла к ЭХК. Причем, если при построении судна химический состав основных и сварочных материалов контролируются, то при ремонте также требуется экспресс-анализ основных материалов непосредственно на смонтированной металлоконструкции, например, на обшивке судна.

Состояние и условия эксплуатации сварного узла со временем меняются, что обуславливает наличие возмущенного движения объекта. Это обстоятельство приводит к необходимости оперативного управления стойкостью сварного узла к ЭХК. Например, на обшивке судна крепят новые цинковые анодные электроды. Либо наоборот, при буксировке, швартовке судна сбили электроды. Или, например, на обшивке судна появился какой-то ранее неучтенный источник тока. Кроме того, может оборваться провод катодной защиты. Либо, что чаще случается, постарел и частично (пятнами) утрачен защитный слой краски – пигмента

(цинкового сурика). В таких случаях требуется оперативное управляющее вмешательство в нормальный ход эксплуатации судна. Иначе может происходить резкое ухудшение стойкости сварных узлов к ЭХК.

Фактически оперативно на участок электропроводной сварной конструкции подается либо снимается дополнительный потенциал, что обуславливает дополнительную разность потенциалов источника тока в электропроводной морской воде. Требуется оперативно компенсировать разбаланс потенциалов материалов сварных узлов, либо (что чаще имеет место) – сгладить пики или наоборот провалы поля потенциалов обшивки судна. Например, производят выборочную покраску корпуса судна, ремонтируют протекторную защиту (установку электродов из цинка, магния или алюминия в замен утраченных). Либо находят и устраняют обрывы проводов катодной защиты. В зависимости от характера трансформации поля потенциалов обшивки судна имеет смысл оперативно регулировать уровни потенциалов за счет изменения тока и напряжения в отдельных точках подключения к обшивке источников катодной защиты. Тем более, что эти потенциалы зависят от многих факторов: температуры, химического состава воды за бортом, средней скорости движения судна и пр.

Важной особенностью стойкости сварной конструкции к ЭХК является высокая инерционность стойкости практически по всем каналам управления. Это создает хорошие условия для эффективного автоматизированного управления. Достаточно иметь периодический порядок реализации управляющих команд. Так периодический контроль решетчатых полей потенциалов обшивки судна позволяет механику своевременно приступить к анализу причин их аномальных отклонений и к устранению выявленных причин.

Библиографический список

1. Способ и устройство защиты от электрохимической коррозии сварной металлоконструкций [Текст]: пат. 2571293 Рос. Федерация: МПК С23F 13/00/ Веревкин В.И.; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - № 2014105150/02; заявл. 12.02.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35. - 8 с.: ил.
2. Технические основы сталеплавильных процессов [Текст]. Учебное пособие для вузов/ Р.С. Айзатулов, П.С. Харлашин, Е.В. Протопопов, Л.Ю. Назюта. - М.: МИСИС, 2002 - 320 с.
3. Веревкин, В.И. Новая концепция снижения электрохимической коррозии обшивок судов (статья) / В.И. Веревкин, В.Ф. Игушев, С.А. Терюшева. IV Международный балтийский морской форум. IV Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии»: тезисы докладов Часть 1. - Калининград: Изд-во БГАРФ, 2016. - С. 70-73.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ТОРГОВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Гиманова И.А., Дулесов А.С.

*Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
г. Абакан, Россия*

Для современной торговой компании характерна широкая номенклатура товаров и большое количество поставщиков. В этих условиях требуется точность, высокая скорость работы с информационными и товарными потоками, а также быстрое принятие решений. Неотъемлемая часть стратегии развития торговли – создание эффективной товаропроводящей инфраструктуры, важнейшим элементом которой является торгово-посредническая система.

Учитывая множественность условий и факторов, связанных с функционированием данной системы, востребованы решения в области её управления. Одной из важнейших задач

торгово-посреднической деятельности экономических агентов являются комплексное использование инструментов управления в целях доведения товара или услуги до конечных потребителей продукции. Разработка и применение современных инструментов управления в сфере структурного взаимодействия агентов должны быть связаны с эффективным перераспределением товарных потоков и цен, с соблюдением принципов оптимальности и устойчивости торгово-посреднической системы.

При разработке модели принятия решения при управлении потоковыми процессами, торгово-посредническую цепь (ТПЦ) экономических агентов использовались утверждения:

1. Производитель сообщает посреднику данные о рыночной цене $p_{pr}(t)$ и объемах продаваемого товара $Q_{pr}(t)$ и может использовать при этом мотивационное управление $M_{pr}(t)$.

2. Посредник обменивается данными со своими предложениями о цене $p_{ps}(t)$ и объеме покупки $Q_{ps}(t)$.

3. Агенты договариваются о взаимовыгодном обмене товара по цене $p(t)$ и в объеме $Q(t)$.

Потребительский рынок описывается кортежем $\Theta = \{Y(t), y_0, \mu\}$, где $Y(t)$ – множество состояний рынка, y_0 – начальное состояние рынка, $\mu: Y(t) \times Ds_{ag} \rightarrow Y(t)$ – функция поведения рынка, $Ds_{ag}(t) = \{Ds_{ag\ i}(t) \mid i = 1..n\}$ – множество действий агентов цепи. Взаимодействия между агентами происходит на локальных микрорынках на основе механизмов информационного обмена и принятия решения о покупке-продаже, удовлетворяющей стороны покупателя и продавца [1].

Торгово-посредническая цепь описывается $T = \{Ag(t), \Theta, Vs(t), St(t)\}$, где $Ag = \{Ag_i \mid i = 1..n\}$ – множество агентов, $Vs(t)$ – множество отношений между агентами, $St(t) = \{St_1(t) \times St_2(t) \times \dots \times St_n(t)\}$ – множество состояний ТПЦ, $St_i(t)$ – состояния i -агента.

Каждый i -агент-посредник описывается $Ag_i(t) = \{St_i(t), Ds_{ag\ i}(t), Ogr_i(t), T_i\}$, где $Ds_{ag\ i}(t)$ – действия i -агента, $T_i: St_k \times Ds_i \times Ogr_i \rightarrow St_{k+1}$ – функция переходов от состояния k к состоянию $k+1$, $Ogr_i(t)$ – множество ограничений i -агента.

На основе базовой модели управления в организационных системах и базового механизма индивидуального стимулирования была разработана модель принятия решения при управлении ТПЦ с учётом взаимодействия экономических агентов:

$$Pag = \{A_{ag}, A_0, Y, F_{ag}, I\}, F_{ag}(\cdot): A_{ag} \times Y(t) \rightarrow A_0,$$

где A_{ag} – множество управляющих воздействий на деятельность агента;

A_0 – множество результатов выполнения работ после управляющего воздействия;

M_{ag} – множество мотивационных управляющих воздействий, I – информационное воздействие;

$Y(t)$ – множество состояний рынка, $F_{ag}(\cdot): A \times Y(t) \rightarrow A_0$ – целевая функция.

Задача принятия решений для участка цепи с производителем (рис. 1):

1) реализационная структура задачи принятия решения:

$$Pr = \{A, A_0, M, Y, F_{pr}(\cdot), I\}, F_{pr}(\cdot): A \times Y(t) \rightarrow A_0;$$

2) оценочная структура в виде функции предпочтений: $\langle A_0, \geq \rangle$.

$\Delta Q_{pr}(t) \in A$ – информационные управляющие воздействия на производственную деятельность производителя.

Под управлением ТПЦ понимается система мероприятий, направленная на достижение основной цели сбыта продукции за счёт качественного перераспределения товарных потоков и разработанной ценовой политики.

В соответствии со структурой обоснованы следующие функции в составе управляющей подсистемы:

- анализ возможных последствий принимаемых решений;
- помощь ЛПР при анализе исходной информации, оценке сложившейся обстановки и ограничений, накладываемых внешней средой;
- выбор лучшего, с точки зрения ЛПР, возможного варианта или формирование рекомендаций для лица ПР, по управляющим воздействиям.

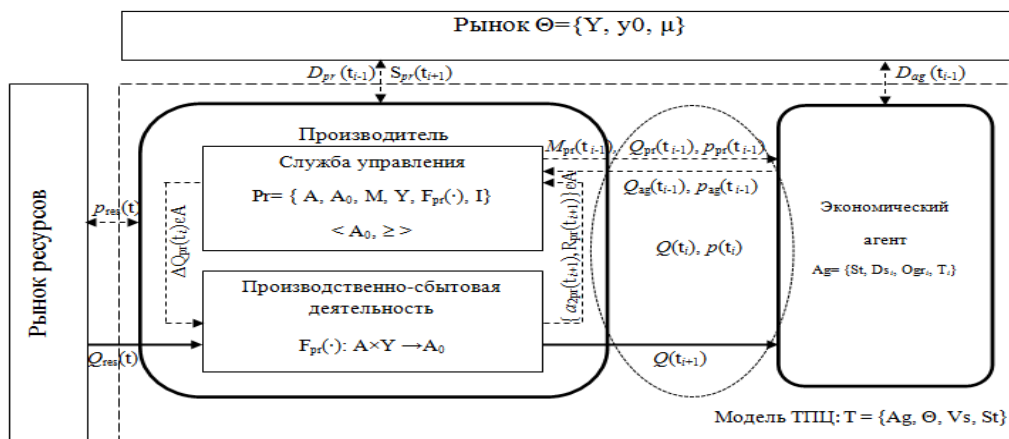


Рисунок 1 - Участок цепи с производителем

Задача принятия решений для участка цепи с посредником (рис.2).

1) реализационная структура задачи принятия решения:

$$Pr = \{ A, A_0, M, Y, F_{pr}(\cdot), I \}, F_{pr}(\cdot): A \times Y(t) \rightarrow A_0,$$

2) оценочная структура в виде функции предпочтений: $\langle A_0, \geq \rangle$.

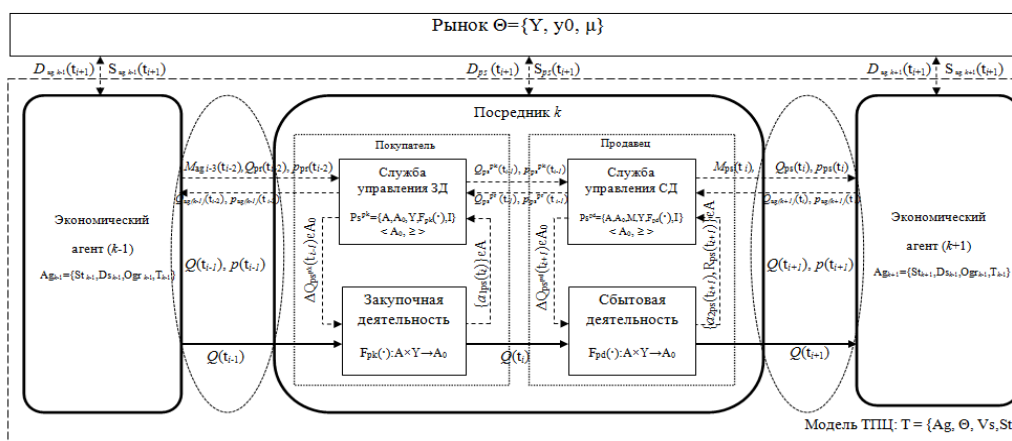


Рисунок 2 – Участок цепи с посредником

В качестве основного критерия принятия решения ЛПР принимается максимизация прибыли агента от продажи товара с учётом жёстких ограничений:

- на денежные средства, выделенные на покупку товара, что определяется прогнозированием спроса на товар, сезонными колебаниями, другим влиянием внешней среды;
- способность агента к продаже определённого количества товара, что зависит от вида товара, условий его хранения, типа и объёма склада.

Можно таким образом организовать работу, чтобы работа со всеми потоковыми процессами велась на основе единой системы поддержки принятия решений.

Разработан алгоритм выработки и принятия решений при управлении такими параметрами как цена и объёмы продаж в зависимости от спроса на товар [2]. Внедрение программной реализации системы управления потоковыми процессами позволит анализировать и регулировать взаимодействия экономических агентов в торговых сетях.

Данное исследование необходимо всем участникам торговых систем: производителям, посредникам, конечным продавцам, а также новым компаниям, ищущим своё место на рынке.

Библиографический список

1. Гиманова И.А. Принятие решений при управлении потоковыми процессами торго-

вой системы // Краевые задачи и математическое моделирование: темат. сб. науч. ст./ М-во образования и науки Рос. Федерации, Новокузнец. ин-т (фил.) Кемеров. Гос. ун-та; под общ. ред. Е.А. Вячкиной, В.О. Каледина. – Новокузнецк, 2017. – С. 73-76.

2. Gimanova I.A., Dulesov A.S., Litvin N.V. Simulation of economic agents interaction in a trade chain // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012047. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012047> (Дата обращения 20.09.2017).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Печатнова Е.В.

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

Проблема высокой дорожно-транспортной аварийности и серьезных социально-экономических последствий в результате ДТП продолжает оставаться актуальной [1]. Обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) является комплексной проблемой, а ее разрешение имеет большое народно-хозяйственное и государственное значение [2].

Для снижения дорожно-транспортной аварийности требуется долгосрочное и оперативное управление. Особенно важно управление на территориальном и местном уровнях – на уровне региона и муниципальных образований соответственно. Кроме того, особенности управления будут отличаться в пределах населенных пунктов и на дорогах между ними. Аварии на автомобильных дорогах краевого и федерального значения вне населенных пунктов отличаются высокой степенью тяжести последствий ДТП (отношение числа погибших к общему числу пострадавших в ДТП) [3], поэтому необходима разработка системы управления БДД для таких участков автомобильных дорог.

Функциональная структура управляемой системы, разработанная по рекомендациям работ [4, 5] представлена на рисунке 1. Следует выделить активную составляющую рассматриваемой управляемой системы, вызванную влиянием «человеческого фактора» [5]. Действительно, главными причинами ДДТ выступают либо низкие операционные способности водителей, либо нарушения ими правил дорожного движения.



Рисунок 1 – Функциональная структура управляемой системы

При разработке системы управления БДД на дорогах вне населенных пунктов в качестве цели выступило предупреждение возникновения ДТП. Контроль состояния объекта управления осуществляется на основе расчета $K_{оп}$, определяемого с помощью оценки параметров среды: учета интенсивности движения в реальном времени, метеопараметров, фиксации времени суток, мониторинга проведения дорожных работ/зимнего содержания дороги и учета информации об иных дорожных препятствиях и опасностях (например, пожаров на полях, в результате которых горизонтальная дальность видимости может приближаться к 0). При наименее опасных условиях среды $K_{оп}$ равен 0 и может достигать 5 при максимально опасном состоянии среды.

Формирование задания (исполнительной части системы) реализуется в зависимости от значений $K_{оп}$: определяется зона опасности (в зависимости от интервала, к которому принадлежит $K_{оп}$) и соответствующий перечень мероприятий (таблица 1).

Следующим шагом является исполнение программы: передача информации о рекомендуемых мероприятиях в соответствующие подсистемы (ГИБДД МВД, дорожные службы,

СМИ, органы местного самоуправления и пр.)

При реализации процесса управления устанавливается контроль значений $K_{оп}$. В случае изменения значения $K_{оп}$ и отнесения состояния объекта управления к другой зоне опасности передается новый соответствующий набор рекомендуемых мероприятий.

Кроме того, краткосрочное прогнозирование параметров среды позволит ориентировочно рассчитать продолжительность проводимых мероприятий, а также вероятность изменения значения $K_{оп}$ и отнесения к другой зоне опасности.

Блок схема управления БДД на дорогах вне населенных пунктов представлена на рисунке 2.

Таблица 1 – Зоны опасности в зависимости от значений $K_{оп}$

	Зона опасности				
	Зона малой опасности $K_{оп} \in [0; 1)$	Зона повышенной опасности $K_{оп} \in [1; 2)$	Зона необходимости принятия решений $K_{оп} \in [2; 3)$	Зона как $K_{оп} \in [3; 4)$	Критическая зона $K_{оп} \in [4; 5]$
Рекомендуемый набор мероприятий	1	2, 3	2,3 4	2,3 4, 5	2, 3 4, 5, 6

Примечание: 1 – Работа в штатном режиме. 2 – Запрос краткосрочного прогноза по компонентам среды. 3 – Уменьшенный интервал контроля значений $K_{оп}$. 4 – Принятие решений по обеспечению БДД (снижение степени влияния компонентов или контроль участка сотрудниками ДПС ГИБДД). 5 – Усиление мероприятий (освещение в СМИ), размещение информации об опасности на информационном табло, использование общественного контроля, установка временных знаков. 6 – Ограничение или перекрытие движения.

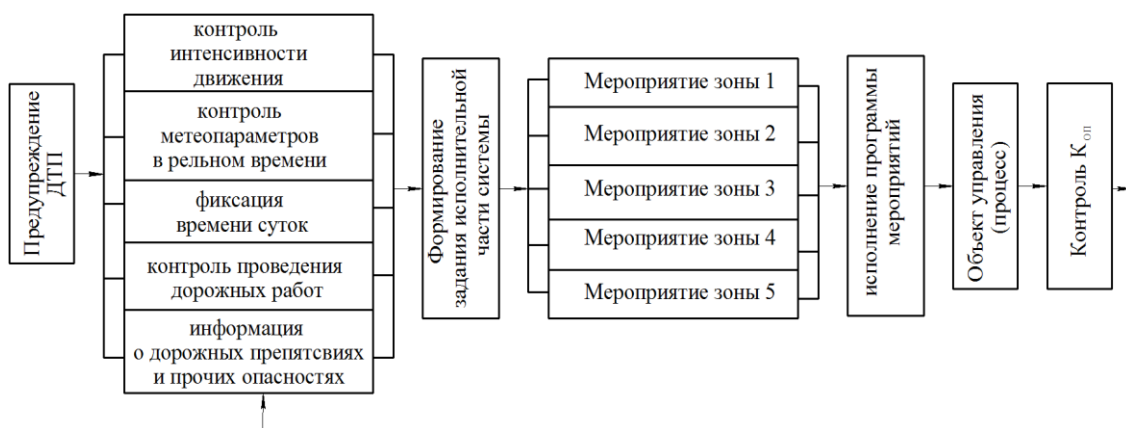


Рисунок 2 – Структура системы оперативного управления БДД

Реализация такой системы на базе «Алтайавтодора», ЕДДС или УГИБДД муниципальных образований позволит значительно сократить аварийность и тяжесть последствий ДТП за счет своевременного принятия адресных мер по профилактике ДТП.

Библиографический список

1. Печатнова Е.В. Влияние времени суток на дорожно-транспортную аварийность // Мир транспорта. 2016. Т. 14. № 2 (63). С. 194-200
2. Карева В.В., Карев В.Ф. Совершенствование системы управления БДД: реальные шаги или корректировка федеральных целевых программ // В сборнике: Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 309-317.
3. Печатнова Е.В., Белькова В.Е. Проблема снижения аварийности в ночное и сумеречное время суток на дороге А322 Барнаул-Рубцовск // В сборнике: Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс. 2016. С. 752–756.
4. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. – 584 с.

5. Оскорбин Н.М. Исследование систем управления: Учебное пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. – 21 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ВЫПУСКА УГЛЯ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ КАК ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Кизилов С.А.^{1,2}, Николаев П.И.¹, Никитенко М.С.^{1,2}, Кузнецов И.С.¹

¹ *Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», г. Кемерово, Россия*

² *Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия*

Современные подсистемы дистанционного электрогидравлического управления по сравнению с местным управлением силовыми гидрораспределителями обеспечивают существенное увеличение скорости крепления, облегчение условий и повышение безопасности труда операторов, сокращение гидрокоммуникаций между секциями крепи.

Эффективная работа очистного комплекса зависит от слаженной работы крепи, конвейера, очистного комбайна. Поэтому, как правило, применяются системы комплексной автоматизации, обеспечивающие электрогидравлическое управление крепью с постов управления, расположенных на секции крепи, и дистанционное с центрального пульта управления, установленного на штреке, с привязкой к конвейеру и положению очистного комбайна.

Технология отработки мощных пластов с управляемым выпуском предполагает использования секций крепи с устройством регулируемого выпуска угля на забойный конвейер. Отличительными особенностями таких крепей являются наличие закрываемых выпускных окон, питателя, которые предназначены для выпуска и погрузки угля из подкровельной толщи на забойный конвейер [1, 2]. Питатель равномерно выпускает горную массу по всей площади проема выпускного окна, его производительность регулируется в широком диапазоне. Предусмотрена возможность одновременной работы группы питателей на забойный конвейер. Количество питателей, работающих в группе, определяется его производительностью. Учитывая, что питатели работают примерно в одинаковых условиях, их средневзвешенные производительности могут быть отрегулированы до необходимой величины полной загрузки конвейера при работе группы питателей [2].

В зависимости от исполняемых функций техническими устройствами, обеспечивающими выпуск угля на забойный конвейер, являются:

- заслон (отсечное устройство), обеспечивающий перекрытие выпускного окна секции;
- питатель, инициирующий процесс движения выпускаемой горной массы;
- направляющий лоток, обеспечивающий функцию погрузки на призабойный конвейер при одновременной работе питателя.

Возможен вариант исполнения питателя и направляющего лотка в виде одного устройства, в зависимости от типа питателя.

Технические средства выпуска являются самостоятельными устройствами и одновременно являются сборочными узлами единичной секции механизированной крепи и функционально должны рассматриваться, как неотъемлемая часть очистного комплекса. По этой причине, разработку принципов автоматизированного управления техническими средствами выпуска на забойный конвейер, даже на начальном уровне стоит рассматривать, как разработку подсистемы управления, в перспективе интегрируемую в применяемую систему управления лавным комплексом.

Для обоснования подземных автоматизированных геотехнологий с элементами роботизации, без постоянного присутствия людей в забоях применен системно-функциональный

подход в виде методологии IDEF0 [3, 4]. Для этого процесс выпуска угля подкровельной толщи разложен на технологические операции и разработана IDEF0-модель процесса механизированного выпуска угля подкровельной толщи, отображающая его организацию без использования средств автоматизации (рисунок 1):



Рисунок 1 - IDEF0-модель механизированного выпуска угля подкровельной толщи

Как видно по модели на рисунке 1, все технологические операции по выпуску подкровельной толщи угля замкнуты на горнорабочем: он отслеживает ход очистных работ, положение очистного комбайна и механизированной крепи, запускает и останавливает работу питателя во время выпуска. При автоматизации процесса выпуска данные функциональные задачи переносятся на систему управления.

В результате проведенного аналитического обзора существующих систем управления очистными комплексами сделан вывод, что автоматизация технических систем при отработке угольных пластов лавными комплексами развито на высоком уровне и строится, как правило, на основе электрогидравлических системах управления; имеющиеся технические решения по автоматизации технических средств по выпуску при отработке мощных угольных пластов с выпуском угля подкровельной толщи на завальный конвейер [5, 6] интегрированы через предусмотренные свободные (резервные) каналы управления исполнительными гидроцилиндрами отдельной секции на базе выпускаемых автоматизированных систем электрогидравлического управления.

Изучение защищенных и утвержденных ВАК РФ диссертационных работ по специальности «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», по направлению исследований систем управления за последние 5 лет позволил сделать вывод, что тенденция развития отечественного роботостроения направлена на развитие адаптивных систем управления роботами и мехатронными системы в недетерминированных условиях. А именно на создание совокупностей мехатронных и роботизированных систем, направленных на решение единой задачи управления с учетом изменяющейся внешней среды и целевых критериев эффективности и надежности за счет интеллектуализации систем управления.

Если рассматривать средств выпуска угля, в качестве объектов автоматизации и роботизации, то шахтные условия являются достаточно детерминированными с точки зрения технологической и эксплуатационной среды и возможных режимов работы. Не требует постоянной адаптации технических устройств по выпуску к рабочей среде. Позволяет рассматривать задачу по адаптивной автоматизации исключительно в рамках технологической функции, которой является определение границы выхода угля подкровельной толщи и начала появления фрагментов разрушенной угольной породы в выпускной окне n-ой секции для обеспечения эффективной реализации площадного выпуска.

Площадный выпуск предполагает одновременное открытие и погрузку угля из группы

секций. Его эффективность зависит от числа и последовательности одновременно открываемых/закрываемых выпускных окон секций, работа которых должна быть увязана с загруженностью, положением забойного конвейера и положения очистного комбайна.

Продолжительность выпуска угля подкровельной толщи предлагается определять в режиме реального времени в момент превышения порогового значения доли породы в выпускаемой массе. Для этого следует обозначить различные физические свойства угля и породы, которые можно зафиксировать в процессе их выпуска:

1. различная насыпная плотность угля (200 кг/м^3) и вмещающих пород (свыше 300 кг/м^3). Отличить уголь и породу представляется возможным с помощью установленных перед выпускным окном датчиков веса горной массы.

2. зольность угля влияет на его способность отражать и пропускать через себя ионизирующее излучение и рентгеновские лучи. Приборы, использующие эту закономерность, золомеры, позволяют с помощью облучения потока угля рентгеновскими или гамма-лучами выявить его зольность [8], что позволяет вовремя остановить выпуск при попадании породы в окно механизированной крепи.

Для обеспечения полноты выпуска при определении зольности предполагается устанавливать не один датчик, а несколько, выше первого. Это позволит контролировать, подход большого массива породы и закрывать выпускное окно до момента ее падения на конвейер. Так же, система из нескольких золомеров позволит снизить вероятность преждевременного закрытия выпускного окна и остановки питателя при прохождении единичного фрагмента породы в рабочей зоне золомера.

Таким образом, система управления техническими средствами выпуска должна обеспечивать решение следующих задач:

- своевременного открывания/закрывания выпускного окна n-ой секции для обеспечения работы комплекса в заданном режиме (площадный выпуск);
- адаптивном управлении отсечным устройством и питателем в зависимости от состава выпускаемой горной массы, загруженности и положения конвейера;

На основе этого предложена концепция по автоматизации процесса выпуска угля подкровельной толщи с элементами роботизации, представленный на IDEF0 модели (рисунок 2).

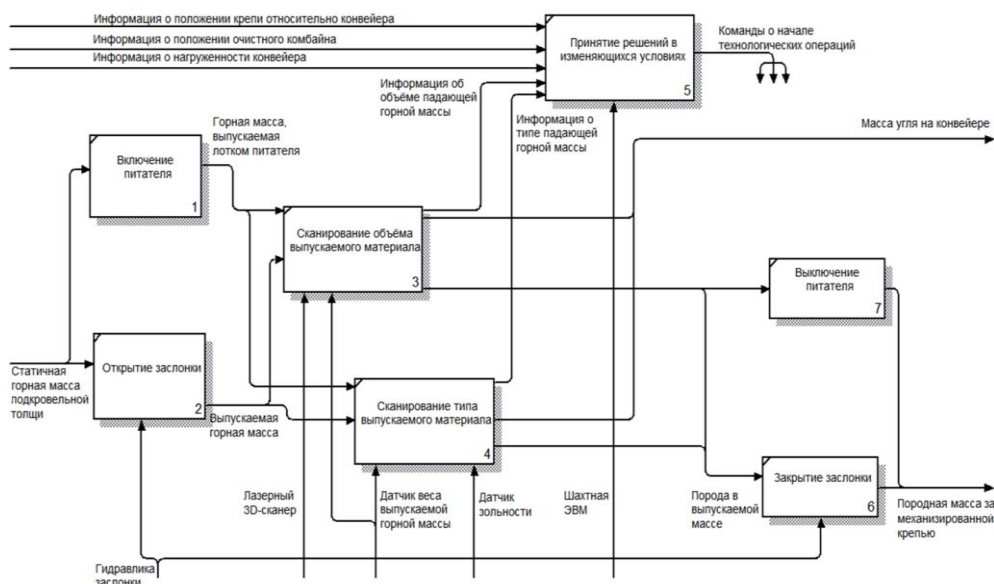


Рисунок 2 - IDEF0-модель автоматизированного выпуска угля подкровельной толщи

Данная концепция по автоматизации процесса выпуска угля подкровельной толщи позволяет:

- обеспечить полноту выпуска угля подкровельной толщи;

- предотвратить разубоживание угля при установке датчика «уголь-порода» над выпускным окном крепи для обеспечения возможности заблаговременного закрывания отсекающей заслонки;
- снизить влияние «человеческого фактора» при управлении процессом выпуска угля, дозировать выпуск в зависимости от положения и загруженности конвейера, положения комбайна;
- предотвратить перегрузку конвейера;
- разгрузить обслуживающий персонал комбайна, находящийся непосредственно в забое, что положительно скажется на безопасности и улучшит условия труда.

И на основе предложенной модели *разработать структурную и функциональную схемы адаптивной системы с элементом роботизации, направленной на решение задачи управления техническими устройствами выпуска с учетом изменяющихся параметров технологической среды.*

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Разработка технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи» (Уникальный идентификатор RFMEF160417X0173).

Библиографический список

1. Клишин В.И., Клишин С.В. Исследование процессов выпуска угля при отработке мощных пологих и крутых угольных пластов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 2010.– № 2. – С. 68-80.
2. Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Направления совершенствования разработки мощных пластов с выпуском угля подкровельной толщи // В сборнике: Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2017) сборник трудов Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 57-63.
3. Широбокова С. Н. Использование инструментальных средств поддержки реинжиниринга бизнес-процессов / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова – 2014. – 194 с.
4. Николаев П. И., Зиновьев В. В. Методика обоснования подземных роботизированных геотехнологий без постоянного присутствия людей в забоях // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №4. – с. 26-33.
5. Customized roof support systems // CAT.com URL: https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/underground-longwall/roof-supports/18346354.html (дата обращения: 30.10.2017).
6. TIANDI Science&Technology Co. URL: <http://tdtec.com> (дата обращения: 30.10.2017).
7. Физические методы контроля зольности угля. М.: Недра, 1978, с. 53-56.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФУРЬЕ КАК СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОЦЕССОВ КОЛЕБАНИЙ УПРУГИХ ВАЛОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШПУ ГЛУБОКИХ ШАХТ

Борщинский М.Ю.

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

Наиболее близкой к задаче поперечных колебаний упругого вала и наиболее полно изученной является задача поперечных колебаний натянутой струны, закрепленной с обоих концов. Анализируя процессы в струне выявим компоненты теории, которые препятствуют

применению для непосредственного исследования поперечных колебаний упругих валов.

Согласно теории метода Фурье колебания струны, описываются гиперболическим дифференциальным уравнением второго порядка с частными производными [1]

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}, \quad v^2 = \frac{T_0}{\rho}, \quad (1)$$

где T_0 – начальное натяжение струны,

ρ – линейная плотность материала струны. В силу закрепления концов струны граничные условия нулевые. Характерным начальным состоянием струны при ее переборе (оттягивании) является то, что струна принимает форму треугольника с изломом в точке зацепления l (рисунок 1).

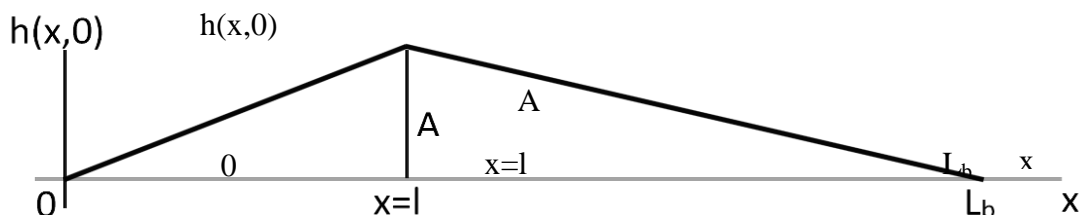


Рисунок 1 – Начальное положение закрепленной на концах струны

В оттянутом состоянии в соответствии с рисунком 1 струне соответствует двух интервальная функция начального возмущенного состояния струны [1]

$$h_0(x) = \begin{cases} hot * \frac{x}{l}, & 0 \leq x \leq l, \\ hot * \frac{L_b - x}{L_b - l}, & l \leq x \leq L_b. \end{cases} \quad (2)$$

Решение уравнения (1) с нулевыми граничными и начальными условиями (2) в соответствии с источником [1] имеет вид бесконечного ряда

$$h(x,t) = \frac{2AL_b^2}{\pi^2 l(L_b - l)} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \sin \frac{k\pi l}{L_b} \sin \frac{k\pi x}{L_b} \cos \frac{v_k k\pi t}{L_b}, \quad (k=1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

Не удалось обнаружить источники, в которых выполнены численные исследования ряда (3). Кроме того, ряд (3) получен при предположении, что натяжение струны $T_k = const$ и не изменяется при колебаниях. Согласно [3] осталось незамеченным то, что малые отклонения могут вызвать натяжения струны, которые окажутся соизмеримыми с ее начальным натяжением. Сомнения в корректности решения (3) вызывает отсутствие возможности описать с помощью уравнения (2) колебания не натянутой струны ($T_0 = 0$ или близкое к нулю) и правая часть уравнения (2) принимает нулевое или близкое к нулю значение.

Для решения поставленной задачи воспользуемся алгоритмом сглаживания кривых линий, предложенный автором диссертации в работе [2]. Алгоритм обеспечивает построение одной сглаженной линии, определяемой произвольной функцией одной переменной $h(x)$. Однако колебательный процесс струны протекает не только в пространстве, но и во времени t , причем все точки струны колеблются одновременно, поэтому необходимо построить функцию, в которой на каждом интервале изменения времени Δt изменяется от $x=0$ до $x=xt$.

Алгоритм имеет вид:

1. double X, x; //абсцисса в пикселях и физическая
2. //X0-Смещение начала координат, Xmax-Максимальное значение
3. const int X0=68, Xmax=668, xm; // Xmax-X0=xm *Mx, Mx-масштабный коэффициент
4. double H, h, dt; //H-ордината в пикселях, h-физическая, шаг изменена времени
5. double HDouble, Otklonen; //непрерывная, пропорциональная h и ее отклонение от H
6. const float Hot, hot; //оттягивание струны в пикселях и физических величинах

```

7. const int H0, Hot; // H0+Hot-ордината оси x в координатах X-H.
8. double OttenkiSerogo, Ves=0.6;//Ves-весовой коэффициент для OttenkiSerogo
9. const double dD=0.00392156822745; //шаг изменения оттенка серого dD=1/255
10. const int Tol=4; //Толщина линии в пикселях
11. double A[Tol]; //Массив для прорисовки линии заданной толщины в пикселях
12. A[0]=255, A[Tol-1]=255;//начальные пиксели верхней и нижней линий сглаживания
13. for (int i = 1; i < Tol-2; i++)
14. {
15.     A[i]=0; //задание черных пикселей ступенчатой линии
16. }
17. enum {pokoi, ottjan, koleb} SostStr;
18. //Коэффициенты Mx и Mh согласуют пиксельные и физические координаты
19. Mx=(Xmax-X0)/xm; Mh=Hot/hot;
20. for (X=X0; X<Xmax; X++) //Цикл прорисовки линии.
21. {
22.     x=(X-X0)/Mx;//Представление x через пиксели и масштаб
23.     h=f(x); //Вызов функции h=f(x)
24.     HDouble=H0+Hot-Mh*h;//HDouble непрерывная величина пропорциональная h.
25.     Otklonen=modf(HDouble,&H);
26.     //Otklonen-дробная часть HDuble, H целая часть-количество пикселей H(X)
27.     OttenkiSerogo=Otklonen/dD; //Определение кода оттенка серого
28.     OttenkiSerogo=RoundTo(OttenkiSerogo,0);//округление до целой части серого
29.     A[0]=OttenkiSerogo; //оттенки серого верхнего пикселя линии
30.     A[Tol-1]=255-Ves*OttenkiSerogo; //Оттенки серого нижнего пикселя линии
31.     for (int i = 0; i < Tol; i++) //Цикл построения линии любой толщины в пикселях
32.     {
33.         Canvas->Pixels[X][H-1+i]=RGB(A[i],A[i],A[i]);
34.     }
35. }

```

На основе представленного алгоритма создадим в блочном формате функцию колебаний струны *KolebanStr()*.

```

void KolebanStr()
{
    //Сюда поместить блок данных - строки 1...19 алгоритма №2
    SosStr=pokoi;
    h=0; //струна в покое
    Risovanie(SostStr); //<Функции рисования: струны в покое
    SostStr=ottjan;//Блок рисования оттянутой струны
    h=h0(x);
    Risovanie(SostStr); //Блок рисования колебаний струны в бесконечном цикле
    SostStr=koleb;
    While(!GetAsyncKeyState(VK_SPACE)) //Бесконечный цикл
    {
        Risovanie(SostStr); //колебания струны
    }
    Sleep(60); // Пауза, определяющая скорость колебаний удобную для наблюдения
    //Блок очистки предыдущих изображений колеблющейся струны
    Canvas->Rectangle(X0,(H0-pen1),Xmax,(H0+2*Hot*Hlup+pen1));
    t=t+dt;//Приращение времени }

```

Поскольку все точки струны вдоль оси *x* колеблются одновременно, точно воспроиз-

вести этот процесс в системе с дискретным временем физически невозможно. Поэтому одновременно имитируем внутренним циклом $0 \leq x \leq xt$ на каждом шаге dt изменения времени t . Это хорошо согласуется с методом отображения сглаженной кривой линии, программная реализация которого приведена в работе [2] автора диссертации.

Основное назначение функции *KolebanStr()* – произвести исследование метода Фурье, описывающего колебания натянутой струны с целью выявления возможности его модификации применительно к выявлению колебаниям упругого вала ШПУ и разработки алгоритма управления электроприводом ШПУ с целью подавления негативного влияния колебательных процессов. Кроме того, функция используется для исследования ряда (3) описывающего колебательный процесс.

В первом случае длительность бесконечного цикла определяется технологическим процессом, во втором случае неопределенностью времени наблюдения за исследуем процессом. В силу неопределенности длительности цикла предусмотрена возможность принудительного его остановки нажатием кнопки “Пробел” с кодом `VK_SPACE`. Решение этой задачи достигается использованием функцией C++ *GetAsyncKeyState(VK_SPACE)*.

Функция `!GetAsyncKeyState(VK_SPACE)` реагирует на нажатие клавиши “Пробел”. Цикл *while* выполняется, пока не нажата клавиша “Пробел”, поэтому имя функции дополнено символом отрицания “!”. Исследуем ряд (3) с учетом 40 членов.

На рисунке 2 показан один период колебаний с точкой оттягивания в середине струны. С трудом угадывается, что начальное и конечное (нижнее) положение струны описываются ромбом, т.е. полупериод колебаний заканчивается зеркальным отображением исходного положения струны. Это свойство отчетливо просматривается на рисунке 3 при увеличении изображения рисунка 2 по вертикали в пять раз.



Рисунок 2 – Колебание струны в реальном масштабе с сохранением следа

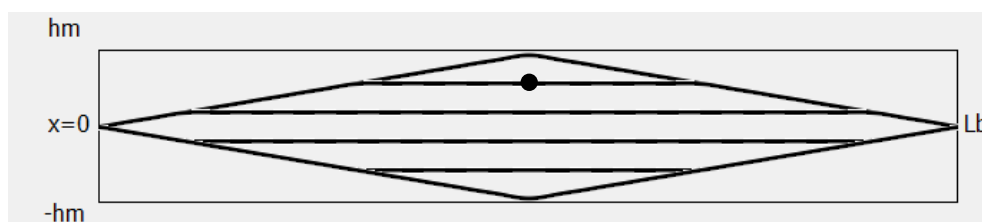


Рисунок 3 – Колебание струны в увеличенном масштабе с сохранением следа

На рисунке 4 показана струна в положении, отмеченном на рисунке 3 черной точкой. Струна имеет три неестественных прямолинейных участка с изломами в двух точках.

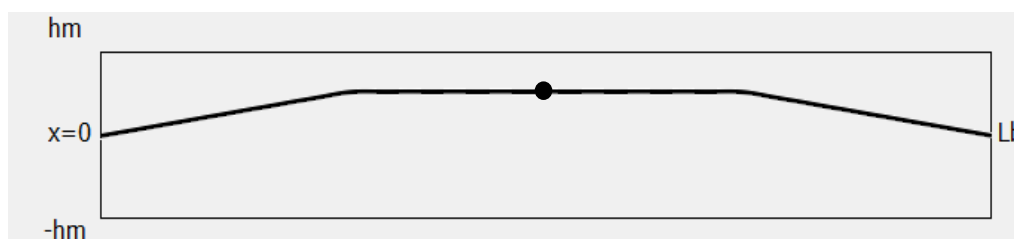


Рисунок 4 – Форма струны в фиксированный момент времени

Несколько иную форму струна принимает при оттягивании за точку, удаленную от ее начала на одну треть (рисунки 5 и 6) и на две трети (рисунки 7 и 8). На этих рисунках начальное и конечное положения струны находятся в косо́й симметрии, зависящей от положения точки оттягивания струны. Формы кривых показаны соответственно на рисунках 6 и 8, причем средний линейный участок приобретает наклонное положение.

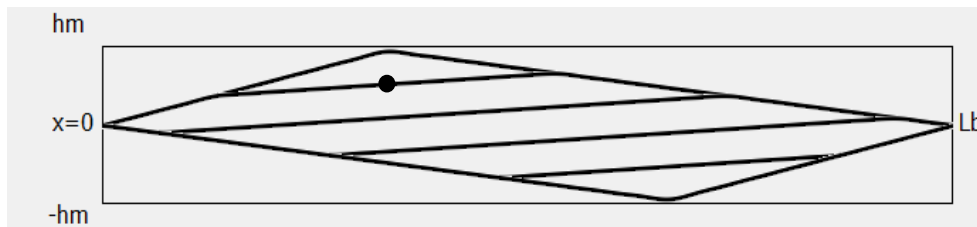


Рисунок 5 – Колебание струны с точкой оттягивания в $1/3$ длины струны от начала

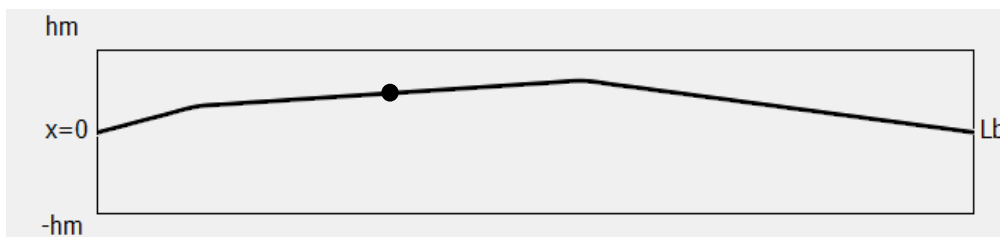


Рисунок 6 – Форма струны на рисунке 5 в фиксированный момент времени

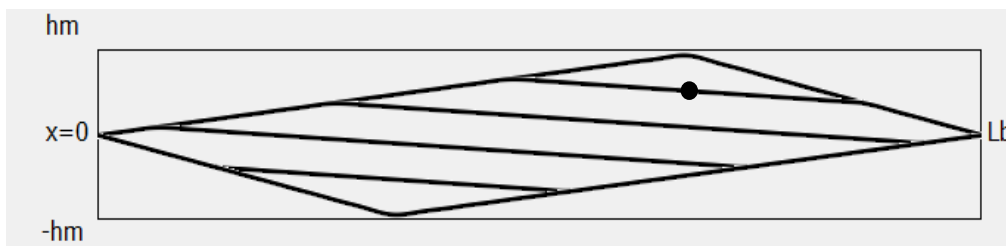


Рисунок 7 – Колебание струны с точкой оттягивания в $2/3$ длины струны от начала

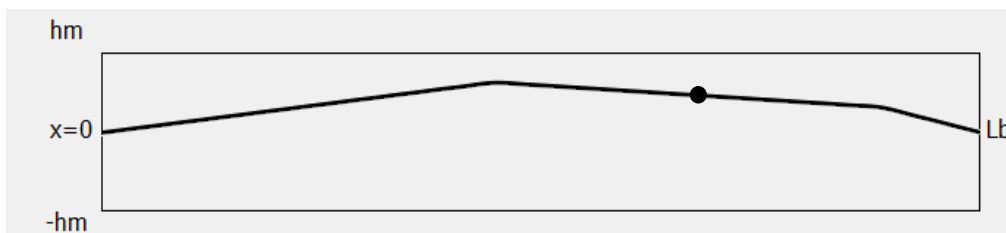


Рисунок 8 – Форма струны на рисунке 7 в фиксированный момент времени

На рисунках 9 и 10 показано состояние струны перед завершением первого периода колебаний. Как следует из рисунков форма струны полностью соответствует ее форме на рисунках 3 и 4 в зеркальном отображении относительно оси $x Lb$.

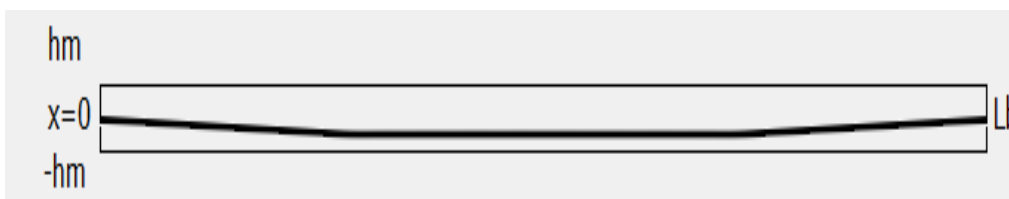


Рисунок 9 – Форма струны в положении перед завершением первого периода колебаний

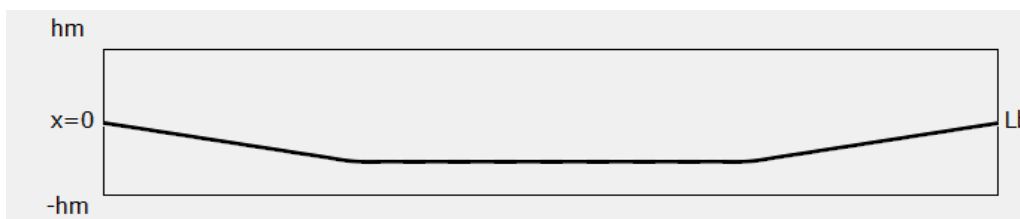


Рисунок 10 - То же, что и на рисунке 9 при увеличении по вертикали в 5 раз

На рисунках 11 и 12 приведена форма струны в конце первого периода колебаний в физическом (рисунок 11) и увеличенном масштабах, полученная экспериментально на стенде. Рисункам 11 и 12, полученным в эксперименте, соответствуют рисунки 9 и 10 исследова

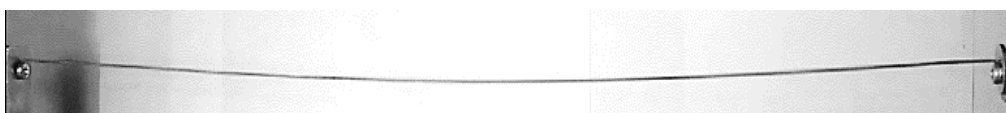


Рисунок 11 – Форма струны в положении перед завершением первого периода колебаний полученной в физическом эксперименте

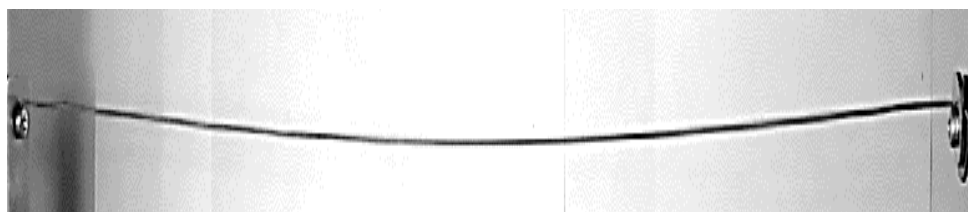


Рисунок 12 – То же, что и на рисунке 11 при растягивании рисунка по вертикали

Сопоставление рисунков 9 и 11, полученных математически, а также рисунков 10 и 12, полученных в эксперименте, показывает, что результат эксперимента не соответствует математическому исследованию ряда (3), являющемуся решением волнового уравнения (1). Эксперимент подтверждает вывод автора работы [3], что ряд (3) является результатом математического исследования волнового уравнения, а не колебаний натянутой струны. Причина, приведшая к такому результату, состоит в том, что вывод ряда получен в предположении, что натяжение струны при колебаниях остается постоянной и равной натяжению T_0 струны в состоянии покоя.

Таким образом, непосредственное использование метода Фурье для струны с постоянным натяжением не позволяет произвести исследование колебаний упругих валов и длинных канатов, поэтому необходима его модификация. Кроме того, в теории колебаний струны не учитывается ее вес и усилия, затрачиваемый на изгиб. Для струны как невесомой гибкой нити малого диаметра это несущественно, но существенно для вала, диаметр которого большой и при изгибе тратятся усилия, на растяжение вдоль диаметра в направлении натяжения с одной стороны диаметра и сжатия другой. Решение этой задачи является объектом исследований другой статьи.

Библиографический список

1. Кошляков Н.С. Уравнения в частных производных математической физики [Текст]: учеб. пособие для мех.-мат.ун-тов / Н.С. Кошляков, Э.Б. Глинер, М.М. Смирнов. – М.11: Высшая школа, 1970. – 712 с.
2. Борщинский М.Ю. Сглаживание ступенчатости кривых линий при отображении поперечных и закручивающих колебаний упругих валов и продольных колебаний канатов глубоких шахт в системах управления электроприводом [Текст] / М.Ю. Борщинский,

Труды XI Всероссийской научно-практической конференции Системы автоматизации в образовании, науке и производстве, 14-16 декабря 2017, г. Новокузнецк

3. Козачок А. А. Парадоксы механики сплошных сред. Новые подходы к постановкам и решения некоторых классических задач математической физики: Учеб. пособие для студентов ВУЗов / А.А. Козачок, под общ. ред. В. Г. Барьяхтара. — Киев: ПВП «Задруга», 2005. – 212 с.

РЕЦИКЛИНГ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ

Проценко А.П., Пахомова Е.О.

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
г. Кемерово, Россия*

Проблемам развития ресурсных экономик, в том числе проблеме развития ресурсных регионов, в последние годы уделяется много внимания. Это объясняется тем, что большинство стран, в том числе и Россия, имеющие значительные запасы природных ресурсов, отстают в темпах экономического роста, социального развития, качестве политических и экономических институтов от стран, не обладающих такими природными богатствами. Регионы ресурсного типа обладали и обладают двойственной характеристикой. С одной стороны запасы сырьевых ресурсов являются источником благосостояния для экономики региона и страны в целом, с другой стороны ограничивают возможности развития других отраслей, усиливают дезинтеграционные процессы. Поиск наилучшего соотношения между ресурсными возможностями и нересурсными факторами развития и составляет альтернативный инструмент развития ресурсных регионов. Таким инструментом, на взгляд авторов, является теория цепочек добавленной стоимости, позволяющая искать второстепенные решения в существующих производствах.

По различным подсчетам в России в отвалах и хранилищах накоплено около 80 млрд. т. твердых промышленных отходов, из которых 1,6 млрд.т. токсичные и канцерогенные. Промышленные отходы – это потенциальные сырьевые ресурсы техногенного происхождения, имеющие определенный химический состав и физическую структуру, их промышленное использование открывает возможности для перехода от экстенсивного использования природных ресурсов к их комплексной добыче и переработке [1]. Использование промышленностью страны большого числа устаревших технологий дает огромное количество отходов, что, в свою очередь, делает научные разработки в области технологий переработки промышленных отходов чрезвычайно актуальными. С развитием науки и техники каждое производство все более приближается к безотходному. Для этого необходимо решение двух взаимосвязанных задач: разработка технологических процессов по переработке промышленных отходов, в которых отходы рассматриваются как техногенное сырье для получения полезного продукта и создание экономических и правовых условий. Для начала рассмотрим технологическую составляющую перехода на комплексную переработку промышленных отходов.

Технологические процессы, направленные на прекращение образования техногенных новообразований. К технологическим процессам данного направления относятся, по сути, малоотходные производства, в которых только небольшая часть сырья превращается в отходы. В таких производствах выбросы вредных веществ не превышают предельно допустимые концентрации (ПДК), а также уровня, при котором предотвращаются необратимые экологические изменения.

Основные направления создания малоотходных производств в промышленном регионе: экологически безопасная подготовка и комплексная переработка сырья в сочетании с очисткой вредных выбросов, утилизацией отходов, оптимальным использованием энергии, водо- и газооборотных циклов; применение малостадийных технологических схем с максимальным извле-

чением целевых и побочных продуктов на каждой стадии; замена периодических процессов непрерывными, с использованием автоматизированных систем управления ими и более совершенного оборудования; широкое вовлечение в производство вторичных ресурсов. Оптимальное использование сырьевых ресурсов достигается их комплексной переработкой [2].

В качестве примера можно привести технологии переработки твердого топлива, нефти, нефелиновых руд и т.д. Так, в СССР впервые в мире была разработана и осуществлена технология переработки нефелинов - отходов обогащения апатитов, в результате чего из 1 т. глинозема получают 0,2-0,3 т. K_2CO_3 ; 0,60-0,75 т. Na_2CO_3 и до 10 т. цемента. Такая технология, в сочетании с замкнутым водооборотом и эффективной очисткой газов цементного производства, обеспечивает минимальное количество отходов.

Существует довольно интересная безотходная технология получения чистого алюминия (99,95 %) из дешевого исходного сырья (низкосортный боксит, грунтовая глина и др.). Процесс осуществляется при значительном уменьшении удельного расхода энергии и трудовых затрат. Как показали сравнительные оценки, новые способы получения чистого алюминия позволят снизить удельный расход энергии в 3-5 раз, затраты труда – в 5-7 раз, а себестоимость конечного продукта – в 5-10 раз по сравнению с традиционными технологиями. Аналогичная ситуация имеет место в случае получения титана, магния, натрия и других металлов по новым технологиям [3].

Для безотходных технологий главным является переход на замкнутые технологические циклы, в какой-то мере воспроизводящие природные, что позволяет получить минимум твердых, жидких, газообразных и тепловых отходов и выбросов. В «Декларации о малоотходных и безотходных технологиях и использовании отходов», принятой Европейской Экономической Комиссией по сотрудничеству в области охраны окружающей среды, дается следующее определение: «под малоотходным и безотходным производством понимается такой метод производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при котором все сырье и энергия используется наиболее рационально и комплексно в цикле «сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы» и любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования».

Технологические процессы, направленные на значительное снижение объемов техногенных новообразований. Примером технологий этого направления является технология очистки шламовых вод углеобогащительных фабрик, внедренная на обогатительных фабриках Кузбасса (автор д.т.н., М.С. Клейн).

Результаты внедрения интенсивной технологии очистки шламовых вод следующие: расход аполярного собирателя сократился на 20-30 %; выход флотоконцентрата увеличился на 2-3 % (от операции флотации); производительность флотомашин увеличилась в два раза; потери угля с отходами флотации снизились на 30-40 %; выбросы загрязняющих веществ уменьшились на 20 %. Годовой экономический эффект при переработке 1 млн. тонн рядового угля (коксуемого) составляет до 30 млн. рублей.

Примером технологий этого направления могут служить также многокомпонентные низкоплотные смеси (автор д.т.н, Катанов А.Б.). В результате взрывных работ только на разрезах Кузбасса в атмосферу выбрасывается до 5,74 млн.т./год вредных газов. Многокомпонентные низкоплотные смеси – пеногели - наиболее выгодный метод борьбы с пылегазовыми выбросами при массовых взрывах в условиях открытых горных работ. Низкоплотные среды перераспределяют энергию взрыва, способствуют коагуляции пыли, снижают концентрацию вредных газов. Применение пеногелевой забойки позволяет снизить удельный расход взрывчатых веществ на 12-15 % при одинаковом результате дробления горной массы. Запыленность снижается вдвое, а длина зоны оседания пыли (размером от 25 до 250 мкм) снижается почти в 10 раз.

Технологические процессы, направленные на переработку образующихся техногенных новообразований. Примером технологий этого направления можно считать технологию

получения флуорена для синтеза высокоэффективного противовирусного препарата тилорона. На любом коксохимическом предприятии образуется значительное количество отходов регенерации поглотительного масла, имеющих в своем составе флуорен, аценафтен, дифениленоксид в суммарном отношении около 85 %. Оригинальная технология позволяет выделить флуорен из отходов, как необходимое сырьё для лекарственных препаратов. Данная работа является первым звеном в цепи значительного увеличения получения продуктов из коксохимических смол и отходов коксохимических производств (β -пиколин, фенантрен, карбазол, антрацен). Дополнительно может производиться до 500 т аценафтена, 600 т дифенилоксида.

Технологические процессы, направленные на переработку хранящихся техногенных новообразований. О замкнутости производства можно говорить в двух аспектах: применительно к индивидуальному производственному процессу в рамках одного предприятия и в рамках группы предприятий, когда происходит объединение различных технологий в последовательные и параллельные цепочки с целью более полного использования сырья и сокращения отходов. С этой точки зрения уникальным является технология производства синтетических флюсов для черной металлургии из фторуглеродистых отходов алюминиевой промышленности (автор д.т.н., Е.П. Волюнкина).

Комплексные синтетические легкоплавкие флюсы представляют собой уникальные сырьевые материалы для металлургических процессов выплавки чугуна и стали, превосходящие по технологическим параметрам природный легкоплавкий флюс – плавиковый шпат – и позволяющие, одновременно, частично заменить традиционные энергоносители – кокс, уголь и др.

Основные преимущества комплексных синтетических флюсов по сравнению с природными (плавиковый шпат):

- наличие легкоплавких фтористых солей обеспечивает более низкую температуру плавления минеральной части - 1120-1200 °С, что способствует быстрому наведению жидкоподвижных шлаков в металлургических агрегатах;
- наличие высокоактивных соединений натрия и кальция обеспечивает высокую рафинирующую способность металлургических шлаков, особенно в отношении серы;
- наличие углерода, характеризующегося оптимальной для металлургических процессов динамикой горения (низкая скорость горения при температурах до 800 °С при резком возрастании в области температур 900-1100 °С), обеспечивает оптимальные условия рафинирования металла.

Запатентованный комплекс технологий получения синтетических флюсов и способов ведения технологических процессов в металлургии с их использованием (способы выплавки стали, чугуна, десульфурации металла) позволяет сформировать рынок для отходов, являющихся сырьем для их производства.

Разработанные методы получения синтетических флюсов с использованием известковых реагентов позволяют получить не только кондиционное и технологически ценное, но и экологически безопасное сырьё для черной металлургии. Специальная обработка фторуглеродистых отходов в процессе их изготовления обеспечивает частичную нейтрализацию содержащихся в отходах токсичных компонентов (фтор, марганец, кадмий, мышьяк, бензапирен, цианиды, свинец, цинк). Полученные флюсы не вступают в реакцию с атмосферным воздухом и влагой в условиях хранения и транспортирования и не выделяют токсичных веществ. В ходе последующей переработки в высокотемпературных (1500-2000 °С) металлургических агрегатах в присутствии соединений кальция и магния, являющихся основными компонентами шлаков в наиболее распространенных основных металлургических процессах, обеспечивается окончательное и полное разложение содержащихся в фторуглеродистых отходах остаточных токсичных веществ до безопасных соединений или их переход в жидкий шлак и последующее остеклование.

Преимуществом производимой продукции является низкая цена и ее комплексный состав, позволяющий обеспечить выполнение нескольких технологических функций в металлургических процессах и обеспечить предприятиям-потребителям дополнительную эконо-

мию за счет снижения расхода топлива и основных флюсов (известь, известняк, доломит). Другим преимуществом продукта является его наукоемкость, которая заключается в создании новых видов сырья с уникальными для металлургических процессов свойствами, что делает продукт многофункциональным, значительно более эффективным сырьевым компонентом целого ряда металлургических технологий (доменный, конвертерный, мартеновский процесс, процессы производства чугуна в вагранках, процессы внепечной обработки чугуна).

Примером технологий этого направления является также ресурсосберегающая безотходная технология получения технической керамики из лома футеровки тепловых агрегатов (автор д.т.н., Иванов Ф.И.). Себестоимость производства огнеупорного кирпича снижена в 1,5 раза при повышенных механических свойствах, улучшена экологическая обстановка в регионе за счет переработки вторичных ресурсов. Планируется создание производства огнеупорных материалов для нужд региона не менее 10 млн. шт. в год.

Однако, несмотря на наличие малоотходных технологий, российский бизнес не торопится их внедрять. Этому есть несколько причин. Среди них наиболее важной является низкая заинтересованность отечественных глобальных вертикально-интегрированных компаний (ВИК) в переходе на комплексное освоение недр и интенсивное использование ресурсов. В целях сохранения монополюльно высокой прибыли крупные экспортно-ориентированные компании формируют закрытые восходящие цепочки добавленной стоимости. Цепочка добавленной стоимости (ЦДС) – это последовательность основных бизнес-функций (стадий производственного цикла) от проектирования, производства до маркетинга, дистрибуции и послепродажного обслуживания потребителя [4-6]. Эти функции могут выполняться как в рамках одной компании (закрытая цепочка), так и распределяться между рядом фирм (открытая цепочка) [7]. В восходящих ЦДС цепочка контролируется фирмой производителем (от производства до реализации готовой продукции), в нисходящих ЦДС ведущую роль играют фирмы, реализующие готовую продукцию потребителям. Особенно сильно негативное влияние проявляется, если ВИК работает в сырьевом секторе, а в цепочке, формируемой в стране и регионе, преобладают стадии добычи и первичной переработки сырья. Такая специализация ведет к тому, что внутри страны не создается высокая доля добавленной стоимости, а экспортируемые природные ресурсы возвращаются в страну в виде готовых зарубежных товаров со значительной наценкой. При этом консервируется экстенсивный подход к добыче ресурсов, блокируется внедрение ресурсосберегающих малоотходных технологий переработки сырья и отходов, не развиваются смежные и поддерживающие производства, закрепляется моноотраслевая ресурсная специализация регионов базирования добывающих дивизионов ВИК и сырьевая экспортноориентированная модель развития страны. К сожалению, в России большая часть глобальных ВИК относится к данному типу [8]. По данным ОЭСР большая часть Российских ВИК как раз сосредоточена в горнодобывающей, химической промышленности и металлургии, оптовой и розничной торговле, транспортном и металлургическом секторах [9].

Выходом из сложившейся ситуации может стать так называемый place-based подход. В российской науке еще не сложился общепризнанный перевод этого термина на русский язык. Но общий смысл его состоит в поиске и развитии региональных и местных компетенций при активном участии локального среднего и малого бизнеса при активном участии органов власти, бизнеса и профессиональных некоммерческих организаций [10-11]. При таком подходе ЦДС фрагментируются (распределяются между несколькими небольшими фирмами), создаются условия для кооперации бизнес структур. В регионе формируются разветвленные цепочки добавленной стоимости, ориентированные на локальные рынки, появляются условия для развития кластеров. Ориентация на локальные узкоспециализированные потребности формирует спрос на технологии для комплексного освоения недр, комплексного развития территорий и внедрения экологически чистой продукции как части стратегии снижения издержек в рамках ЦДС [12-13].

В России уже есть отдельные «ростки» такого place-based подхода. Так в Кемеровской области была создана «карта инновационной активности» муниципальных образований

(МО) и проведен эксперимент по внедрению отобранных экологически чистых инновационных технологий. В его рамках было отобрано четыре связанных инновационных проекта с общим названием «Обеспечение устойчивого социально-экономического развития МО «Кемеровский район». В основе проектов лежал комплекс смежных запатентованных научно-технологических разработок ученых Кузбасского государственного технического университета, Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, Кемеровского технологического института пищевой промышленности и Инновационного научно-производственного центра «ИННОТЕХ» [14].

Критериями для отбора проектов были: использование инновационных технологий, экономическая эффективность (минимальные затраты – быстрая отдача) и ориентация на синергетический эффект за счет аддитивного характера реализуемых технологий. Ключевым условием было решение социальных и экологических проблем МО. Проекты были ориентированы на обеспечение населения эффективным теплоснабжением (проект энергосбережения), решение экологических проблем (проекты по обогащению шламов и рекультивации нарушенных земель) и профилактика заболеваний населения (проект производства продуктов лечебно-профилактического назначения). В результате реализации комплекса проектов, кроме прямых эффектов, были созданы рабочие места, созданы условия для кооперации местных производителей, снижены затраты в сфере ЖКХ, заложены экономические и организационные возможности для производства инновационной продукции с высокой экологической составляющей, обладающей экспортным потенциалом. Конечно, приведенный пример носит единичный характер. Созданные в ходе его реализации компании не смогли переломить сложившиеся в экономике тенденции. Однако в случае их деятельной и последовательной поддержки со стороны региональных и местных властей они могут серьезно повлиять на развитие внутреннего рынка [15]. Опыт Кемеровской области показывает, что совместные усилия власти, бизнеса и науки, направленные на взаимовыгодное сотрудничество в границах одной территории, позволяют получить значительный экономический, экологический и социальный эффекты. Без этого невозможен переход на новый этап эколого-экономического развития регионов и территорий на основе place-based подхода.

Библиографический список

1. Состояние и перспективы развития проектов государственно-частного партнерства в контексте комплексного освоения недр. Кемерово: Сибирская издательская группа, 2015 – 331с.
2. Никитенко С.М., Патракова Л.П. Количество отходов - мера совершенства технологии. Инновации. - 2009. - № 3. - С. 10-14.
3. Козловский Е., Кузнецов О. Моторное топливо из каменного угля // Энергетика и уголь. 2005. - № 8.
4. Taglioni D., Winkler D. Making Global Value Chains Work for Development. Washington: World Bank Group, 2016. – URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/.../9781464801570.pdf> (дата обращения: 25.10.2017).
5. Global value chains in a changing world / Edited by Deborah K. Elms and Patrick Low // Fung Global Institute (FGI), Nanyang Technological University (NTU), and World Trade Organization (WTO), 2013. Printing by WTO Secretariat, Switzerland, 2013. – 436p.
6. Кондратьев В.Б. мировая экономика как система глобальных цепочек стоимости // Мировая экономика и международные отношения. - 2015. - № 3. - С. 5-7.
7. Никитенко С.М., Гоосен Е.В. Цепочки добавленной стоимости как инструмент развития угольной отрасли // ЭКО. - 2017. - № 9. - С. 104-124.
8. OECD (2015) Input-Output Tables. // URL: <http://www.oecd.org/sti/ind/input-outputtables.htm> (дата обращения 25.10.2017).
9. Teresa Bellefontaine T., Wisener R. The Evaluation of Place-Based Approaches: Questions for Further Research. 2011 // URL: <https://ccednet-rcdec.ca/en/toolbox/evaluation-place->

based-approaches-questions-further-research (дата обращения: 25.10.2017).

10. Mel'nikova L.V. Space-neutral and place-based regional policies: The problem of choice // *Regional Research of Russia*. - 2015. - Vol. 5. Is. 1. - P. 1-9.

11. Управление высшим образованием и наукой: опыт, проблемы и перспективы. М.: ИНФРА-М – 400с.

12. Nikitenko S.M, Goosen E.V. and etc. Machine-Building for Fuel and Energy Complex: Perspective Forms of Interaction // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 253 (2017) 012023 doi:10.1088/1757-899X/253/1/012023.

13. Никитенко С.М., Патракова Л.П., Гоосен Е.В. Реализация совместных инновационных проектов бизнеса и местной власти как фактор устойчивого экономического развития муниципального образования // *Региональная экономика: теория и практика*. - 2009. - № 24. - С. 17-26.

14. Nikitenko S.M., Goosen E.V. Socio-economic development of territories based on the principles of public-private partnership in the sphere of comprehensive mineral exploration // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 84 (2017) 012013 doi :10.1088/1755-1315/84/1/012013.

15. Pakhomova E.O., Goosen E.V., Nikitenko S.M. New forms of public-private partnership for sustainable development of the fuel and energy sector // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 84 (2017) 012014 doi :10.1088/1755-1315/84/1/012014.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Клишин В.И., Никитенко С.М.

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
г. Кемерово, Россия*

Многолетний опыт использования ценных марок углей, добываемых из мощных угольных пластов, доказывает их устойчивую конкурентоспособность на мировом и внутренних рынках. Коксующиеся марки углей по качеству и технологическим свойствам, показателям спекаемости и коксуемости, с низким выходом летучих веществ находятся в ряду лучших углей, поставляемых на мировой рынок другими странами. При этом, важно отметить, что две трети запасов такого угля сосредоточена в пластах крутого падения.

Анализ ресурсной базы показывает, что в Российской Федерации среди балансовых запасов действующих угледобывающих предприятий примерно 1/3 составляют неблагоприятные, а 1/10 - весьма неблагоприятные для отработки запасы, не позволяющие применять комплексную механизацию на очистных работах. По экспертным оценкам не более 1/3 разведанных запасов являются благоприятными для разработки, что является сдерживающим фактором для обеспечения конкурентоспособности угольной отрасли на рынке. Именно сложные горно-геологические условия являются одной из первопричин проблемной ситуации, сложившейся на сегодняшний день в угольной отрасли.

Таким образом, проблема эффективной и экологически безопасной разработки запасов, залегающих в сложных горно-геологических условиях, имеет чрезвычайную актуальность для России и от успешности ее решения зависят перспективы развития угледобывающей отрасли.

Не все существующие технологии добычи угля подземным способом можно считать экологичными. При проектировании шахт рассчитывается коэффициент извлечения угля исходя из величины проектных потерь, которые предусматривают безвозвратное оставление полезного ископаемого в недрах при отработке запасов шахтного поля. Однако, коэффициентом извлечения угля во многом зависит от горно-геологических условий, особенно от мощности и угла падения пласта, глубины разработки, а также технологии ведения горных работ. По причине не полной выемки угля в отработанных участках шахт могут возникнуть эндогенные пожары, которые наносят большой ущерб как жизням людей, так и материаль-

ному имуществу. При этом происходят изменения земного ландшафта, загрязнение воздуха и воды, выбросы метана и прочие негативные факторы.

Правила безопасности в угольных шахтах регламентируют, что пласты угля, склонные к самовозгоранию, должны разрабатываться, как правило, с полной закладкой выработанного пространства. Кроме того, разработка мощных пластов угля, склонных к самовозгоранию, должна вестись отдельными выемочными блоками с оставлением между ними противопожарных целиков, что уменьшает коэффициент извлечения угля.

В сложившейся ситуации в качестве эффективного технологического решения, способного обеспечить конкурентоспособность угледобывающих шахт, ведущих отработку мощных угольных пластов, может быть рекомендован способ отработки, обеспечивающий конкурентоспособность продукции угледобывающих предприятий.

В мировой практике сложились два направления развития технологий разработки мощных угольных пластов пологого залегания: послойная выемка и выемка пласта на всю мощность. Слоевая технология приводит к большим потерям угля и, как следствие, опасности возникновения эндогенных пожаров. Поэтому, наиболее предпочтительной технологией отработки мощных пластов является их выемка на всю мощность с выпуском угля из подкровельной или межслоевой толщи [1].

Известны два варианта технологии отработки пластов с использованием средств механизации с выпуском угля подкровельной (межслоевой) толщи: на забойный конвейер обрабатываемого слоя, например, в комплексах КТУ, КНКМ (Россия), VHP-731 (Венгрия) и на дополнительный завальный скребковый конвейер (Longwall top coal caving method – LTCC), расположенный в завальной части лавы, например, ОКПВ-70, КМ81В (Россия), ZFS (Китай). Последний вариант получил широкое распространение в Китае, располагающем достаточно большим количеством угольных месторождений с мощными и сверхмощными пластами, где построены высокоэффективные предприятия, производительность которых при работе с одной–двумя лавами достигает 4,50–8,00 млн. т в год. Различные типы лавных крепей для выпуска со своими особенностями и связанных с этим способом технологии успешно протестированы в Янчжоу, Янцюане, Луане и Датуне [2, 3].

Преимущества технологии отработки пластов с выпуском угля подкровельной (межслоевой) толщи на забойный конвейер заключается в значительном сокращении объёмов подготовительных работ, капитальных и эксплуатационных затрат, энергоёмкости системы, снижении опасности самовозгорания угля, а также возможности разработки пластов в сложных условиях и извлечение запасов из оставленных ранее охранных целиков. Это позволяет повысить эффективность и безопасность отработки пластов, повысить нагрузку на пласт и концентрацию горных работ (рисунок 1).



Рисунок 1 - Общий вид механизированной крепи с регулируемым выпуском угля на забойный скребковый конвейер

Новая технология отработки мощных пологих угольных пластов может быть реализо-

вана посредством механизированных комплексов с роботизированным выпуском угля питателями с регулируемой производительностью [4, 5]. Конструкция механизированной крепи с устройством регулируемого выпуска угля на забойный конвейер разработана с учетом геомеханических процессов, происходящих в угольном пласте и породах кровли, содержит достоинства известных близких вариантов и исключает их недостатки. Поэтому она открывает новый взгляд на направление развития наукоемких технологий сплошной разработки мощных угольных пластов.

Предлагаемая технология обеспечивает выемку угольного пласта мощностью 8,0-10,0 м за один проход очистного комбайна с коэффициентом извлечения угля не менее 0,8 и плановой нагрузкой на очистной забой до 15000,0 т/сутки.

Подобный подход предполагается использовать для подземной разработки мощных крутых угольных пластов системами подэтажного обрушения (рисунок 2).

В настоящее время отсутствуют высокопроизводительные очистные комплексы отечественного производства для эффективной, безопасной разработки мощных крутонаклонных угольных пластов. Поэтому крутонаклонные мощные пласты из-за отсутствия соответствующего горнодобывающего оборудования подземным способом практически не разрабатываются.

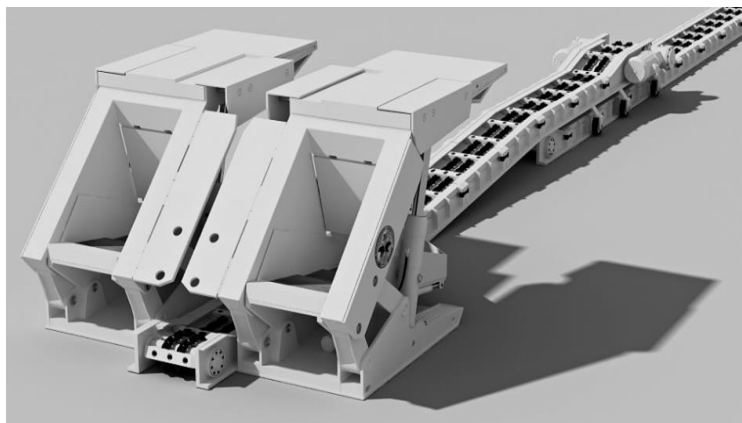


Рисунок 2 - Секция механизированной крепи с регулируемым выпуском угля на забойный скребковый конвейер в системе подэтажного обрушения

Дополнительным конкурентным преимуществом предлагаемой технологии является то, что разработка мощных крутых и крутопадающих пластов угля может производиться и при помощи механизированного ограждающего (поддерживающего) модуля шагающего типа (рисунок 3).

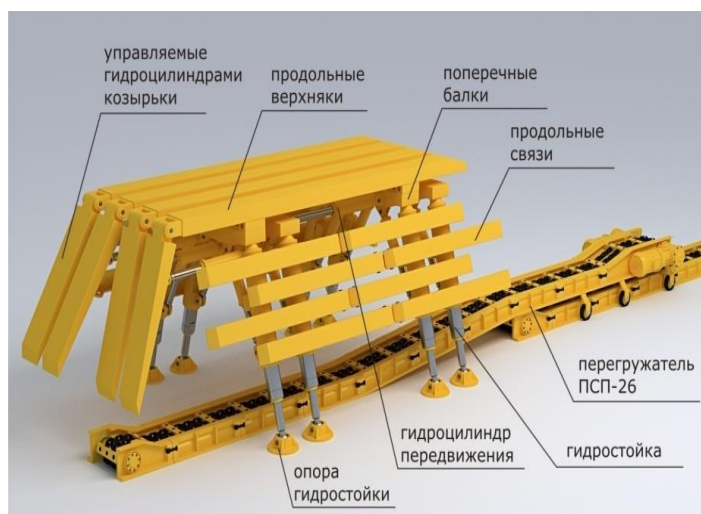


Рисунок 3 - Секция механизированной крепи поддерживающе-ограждающего типа

В предлагаемых технологиях добычи исключены буровзрывные работы, применяется принципиально новый не имеющий мировых аналогов безвзрывной способ управления труднообрушаемыми кровлями - метод направленного гидроразрыва.

Предлагаемые технологии ориентированы, в первую очередь, на шахты Прокопьевско-Киселёвского угольного комплекса в Кузбассе, а также на другие угледобывающие регионы России, где ведётся или планируется добыча угля из мощных угольных пластов [6].

Возможность импортозамещения может быть реализована при разработке мощных угольных пластов Улуг-Элегестского месторождения (республика Тыва), горно-геологические условия залегания части пластов которого являются благоприятными для применения предлагаемой технологии.

Библиографический список

1. Klishin, S.V.; Klishin, V.I.; Opruk, G.Y. Modeling coal discharge in mechanized steep and thick coal mining. J. Min. Sci. 2013, 49, 932–940.
2. Jinshuai Guo, Liqiang Ma, YeWang and Fangtian Wang. Hanging Wall Pressure Relief Mechanism of Horizontal Section Top-Coal Caving Face and Its Application—A Case Study of the Urumqi Coalfield, China. Energies 2017, 10, 1371; doi:10.3390/en10091371
3. Мельник В.В., Суцев Р.А. Технология отработки мощных пологих угольных пластов с выпуском подкровельной толщи // Горный информационно-аналитический бюллетень (импакт-фактор 0,11). – 2009.– 5. – С. 198-210. URL: http://www.giab-online.ru/files/Data/2009/5/Melnik_5_2009.pdf (Дата 14.10.2017).
4. Никитенко М.С., Малахов Ю.В. Роботизированный комплекс по отработке мощных крутонаклонных пластов угля и рудных месторождений. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общей ред. В. Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2017. – № 3. – 484
5. Прогноз научно-технологического развития России: 2030 // Под. ред. Л.М. Гохберга. – Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 244 с.
6. Никитенко С.М., Никифорова Л.Е. Концепция инновационного развития региона на основе методологии проектного управления (на примере Кемеровской области). Сибирская финансовая школа. 2011. № 5 (88). С. 96-103.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУ ТП ОФ ООО СП «БАРЗАССКОЕ ТОВАРИЩЕСТВО»

**Коровин Д.Е.¹, Леонтьев И.А.², Грачев В.В.¹, Мелкозеров М.Ю.³,
Шипунов М.В.¹, Ляховец М.В.¹**

¹ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

²ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия

³ООО СП «Барзасское товарищество», г. Березовский, Россия

В 2017 году началась модернизация автоматизированной системы управления технологическим процессом обогатительной фабрики (АСУ ТП ОФ) ООО СП «Барзасское товарищество» модернизация (г. Березовский Кемеровская обл.). Действующая АСУ ТП ОФ, введенная в эксплуатацию в 2009 году, построена с использованием зарубежных программно-технических средств и представляет собой многоуровневую систему, предназначенную для автоматического контроля и управления технологическими процессами, основными и вспомогательными агрегатами и оборудованием технологического комплекса фабрики, централизованного (диспетчерского) и дистанционного контроля и управления технологическим комплексом.

Программное и информационное обеспечение верхнего уровня АСУ ТП ОФ «Барзас-

ское товарищество» строится на базе SCADA-системы Genesis32 фирмы Iconics (США) [1]. Основными достоинствами данной SCADA-системы являются:

- *встроенные командные языки и дополнительные средства обработки:* система имеет возможность встраивания элементов управления ActiveX и объектов OLE, встроенную среду редактирования сценарных процедур;

- *поддерживаемые базы данных:* SCADA-система GENESIS32 использует синтаксис ANSI SQL, который не зависит от типа базы данных;

- *графические возможности:* среда разработки GraphWorX32 представляет собой графический объектно-ориентированный редактор с набором анимационных функций и встроенной библиотекой символов технологической графики.

Укрупненно можно выделить два подхода, использованных при модернизации программного и информационного обеспечения. При первом подходе, когда изменения касались действующего технологического агрегата, оснащенного средствами КИПиА, создавались новые дополнительные признаки для улучшения его диагностики. При втором подходе, при добавлении в технологическую цепочку новых агрегатов, их диагностические признаки и команды управления формировались с нуля.

Модернизация программного и информационного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП ОФ включает в себя 5 этапов.

Этап 1. Создание переменных (тегов) драйвера ввода-вывода. В качестве драйвера ввода-вывода выступает OPC Server KEPServerEX компании Kerware (США) [2]. В зависимости от типа сигнала (аналоговый или дискретный) были созданы теги соответствующего типа. Именованию тегов строилось по следующим принципам. Если тег является дискретным признаком, то он именуется «Р», если же он является дискретной командой, то «СО». В случае, когда тег является аналоговым, то он именуется «АР» или «АСО» для аналогового признака и команды соответственно.

На рисунке 1 показан интерфейс конфигуратора OPC сервера KEPServerEX с дискретными признаками контактного чана позиции 900.

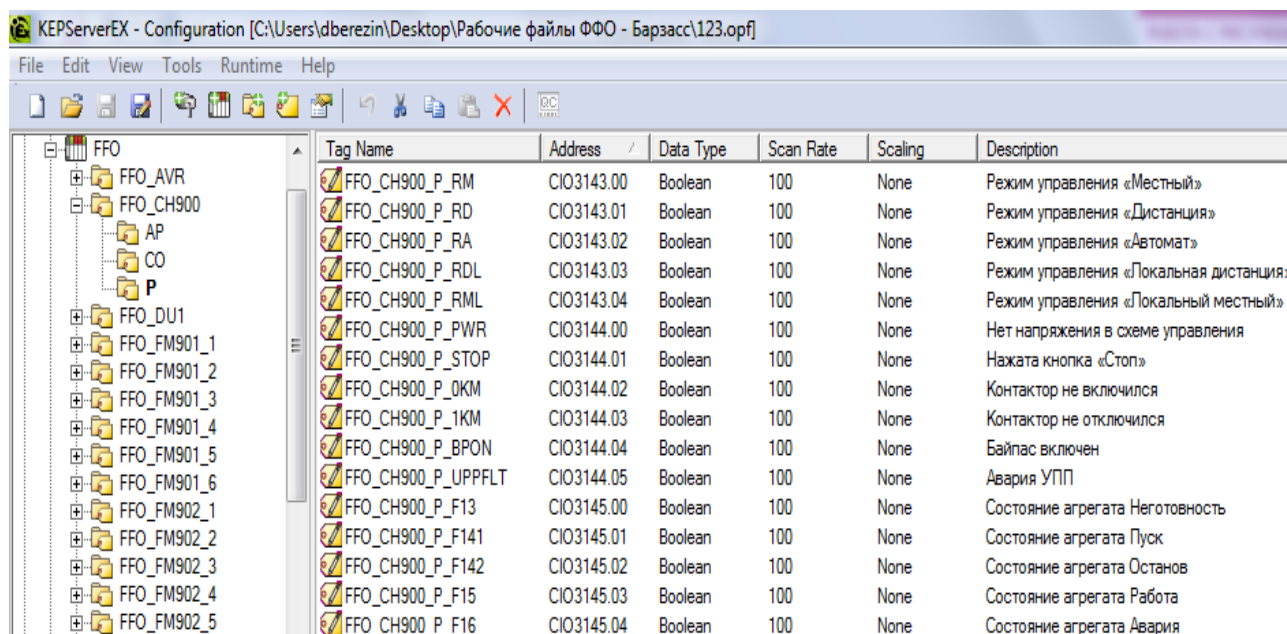


Рисунок 1 – Интерфейс конфигуратора OPC сервера Kerware

Этап 2. Конфигурирование базы данных реального времени SCADA – системы. Компонентом базы данных реального времени Genesis32 является модуль DataWorX32. DataWorX32 обеспечивает обмен данными с OPC сервером KEPServerEX в режиме «мягкого» реального времени. DataWorX32 используется как OPC туннель для передачи и агрегирова-

ния данных с OPC сервера. Именованние тегов в DataWorX32 аналогично именованию переменных в KEPServerEX, что позволило ускорить разработку ПО. Внесённые теги в DataWorX32 и интерфейс подключения к OPC представлены на рисунке 2.

Этап 3. Корректировка существующих и разработка новых мнемосхем технологических комплексов осуществляется с помощью среды GraphWorX32.

Для создания объектов мнемосхемы использовались как простые, так и сложные компоненты. Для примера на рисунке 3 представлены мнemoизображения конвейера в 3D форме и сушильного агрегата в 2D.

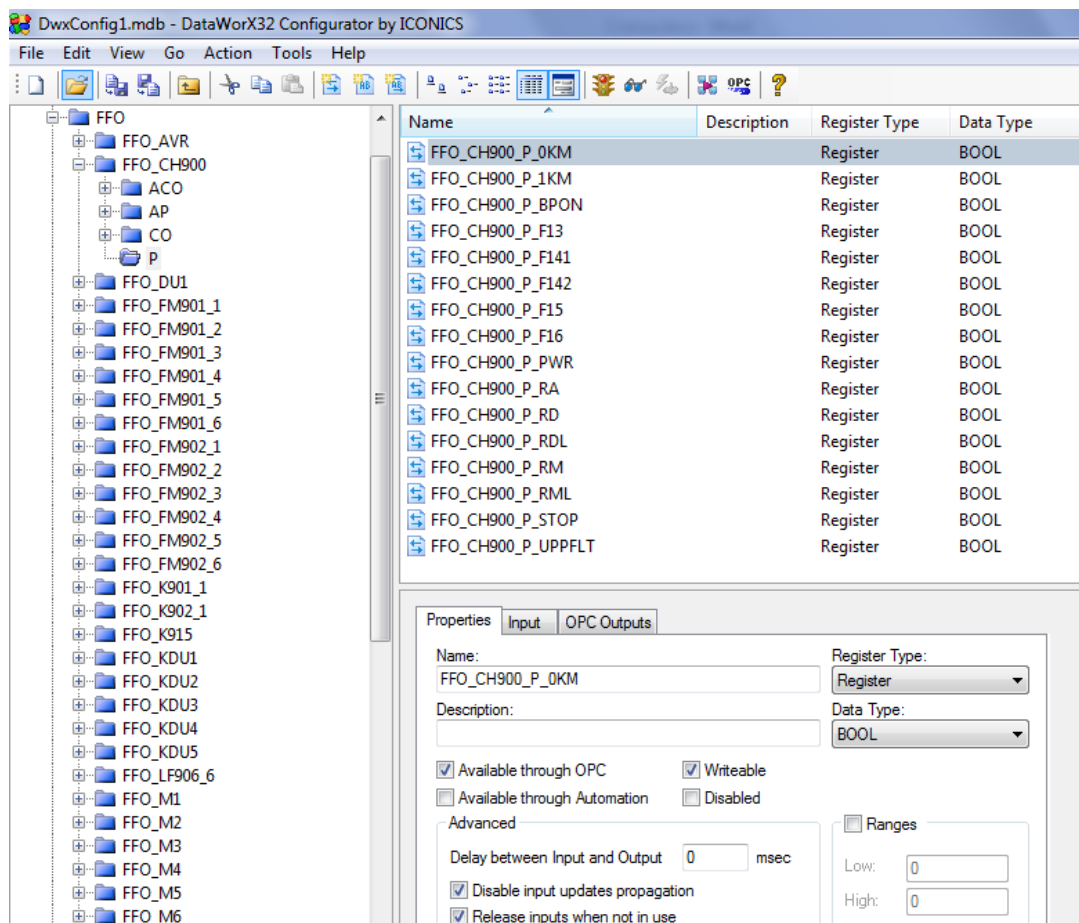
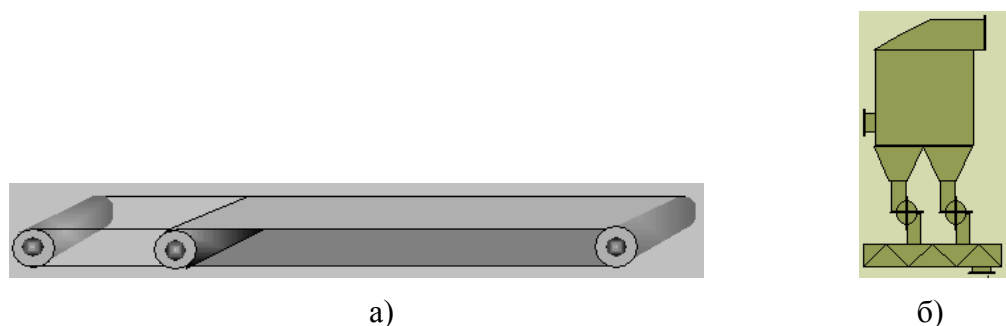


Рисунок 2 – Интерфейс базы данных реального времени DataWorX32



а) конвейер в 3D, б) сушильный агрегат в 2D

Рисунок 3 – Мнemoизображения технологических агрегатов

На рисунке 4 представлена разработанная мнемосхема флото-фильтровального и сушильно-топочного отделения ОФ.

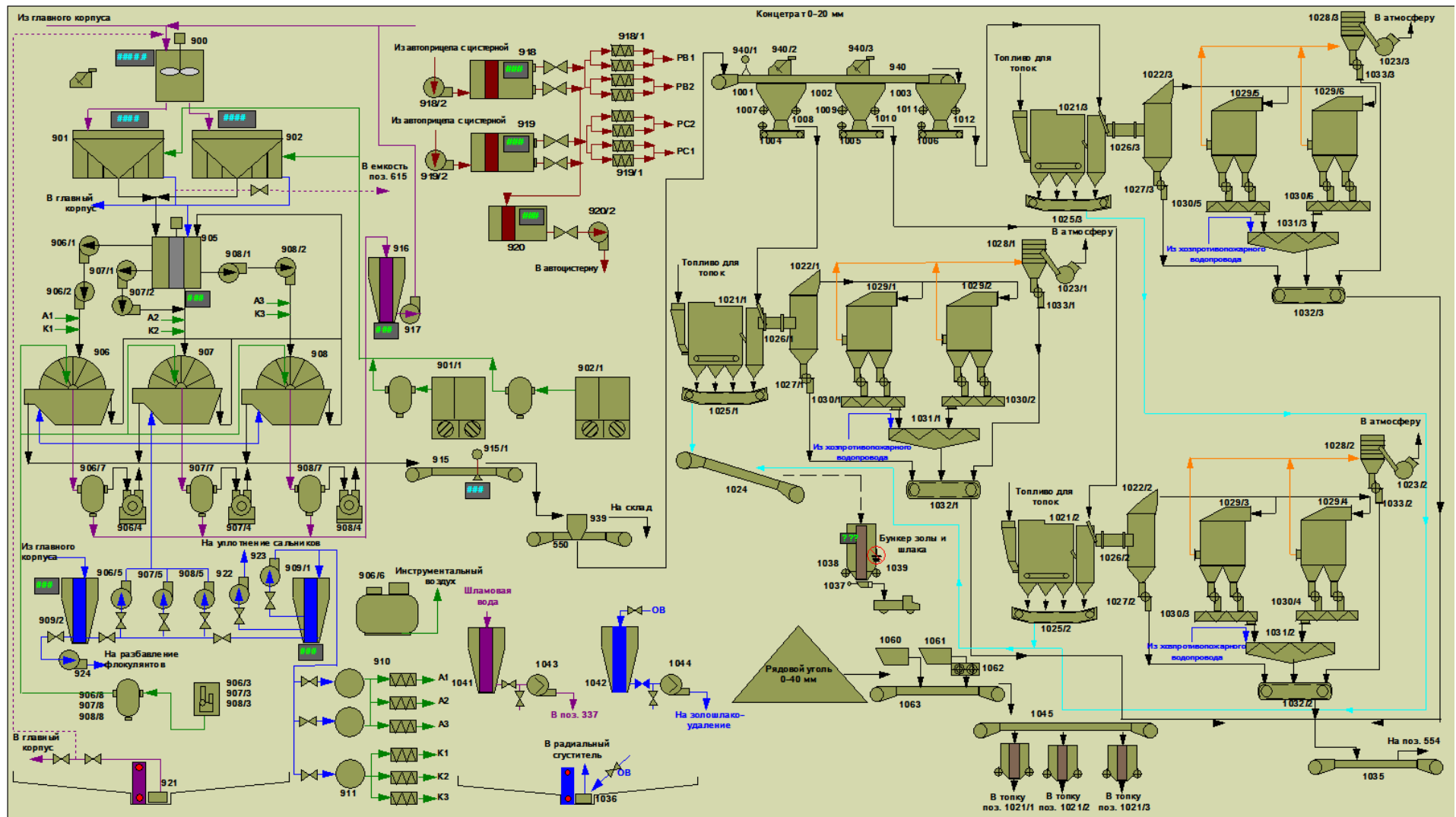


Рисунок 4 – Мнемосхема флото-фильтровального и сушильно-топочного отделения ОФ ООО СП «Барзасское товарищество»

Примеры всплывающих диагностических окон представлены на рисунках 5 и 6.

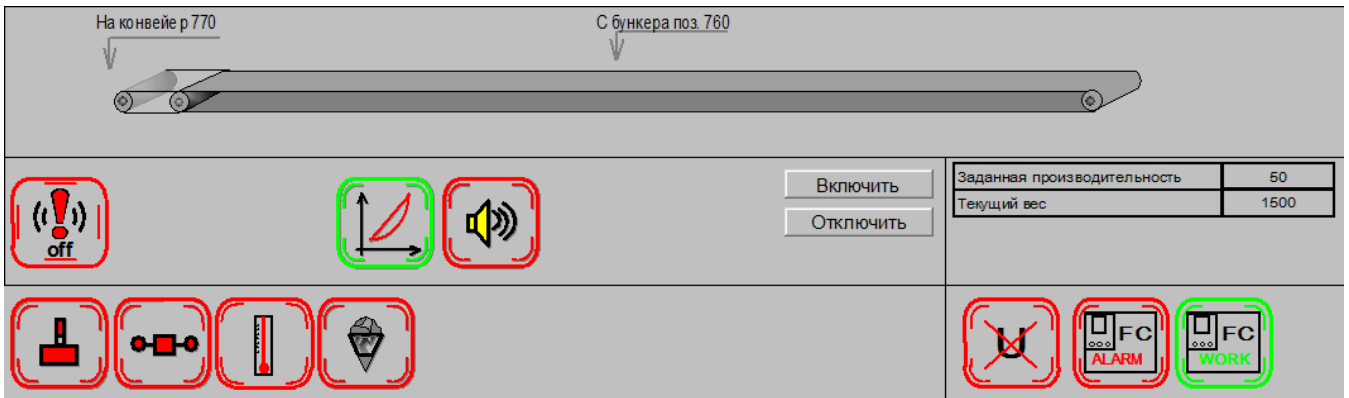


Рисунок 5 –Диагностическое окно «Конвейер поз. 761»

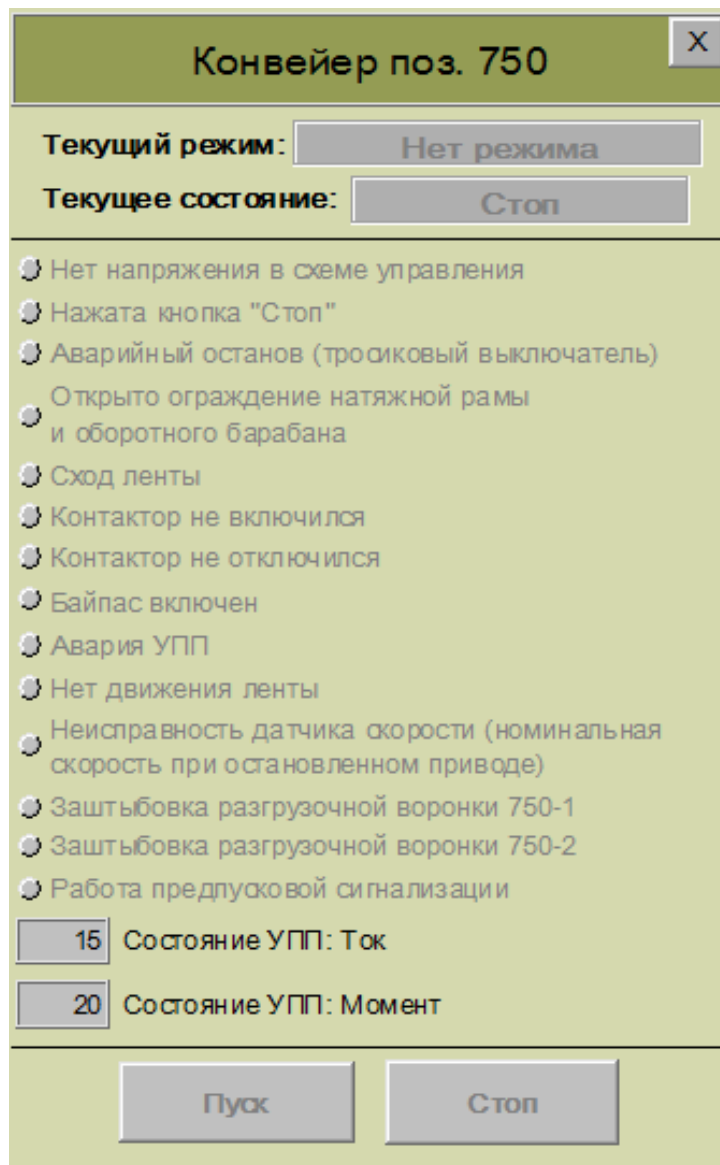


Рисунок 6 - Диагностическое окно «Конвейер поз. 750»

Этап 4. Конфигурирование аварийных сообщений осуществлялось с помощью модуля AlarmWorX32. Информация по аварийным сообщениям сгруппирована по технологическим комплексам и отображается в табличном виде на главном видеокадре диспетчера в момент

возникновения тревоги. Интерфейс конфигуратора аварийных сообщений AlarmWorX32 представлен на рисунке 7.

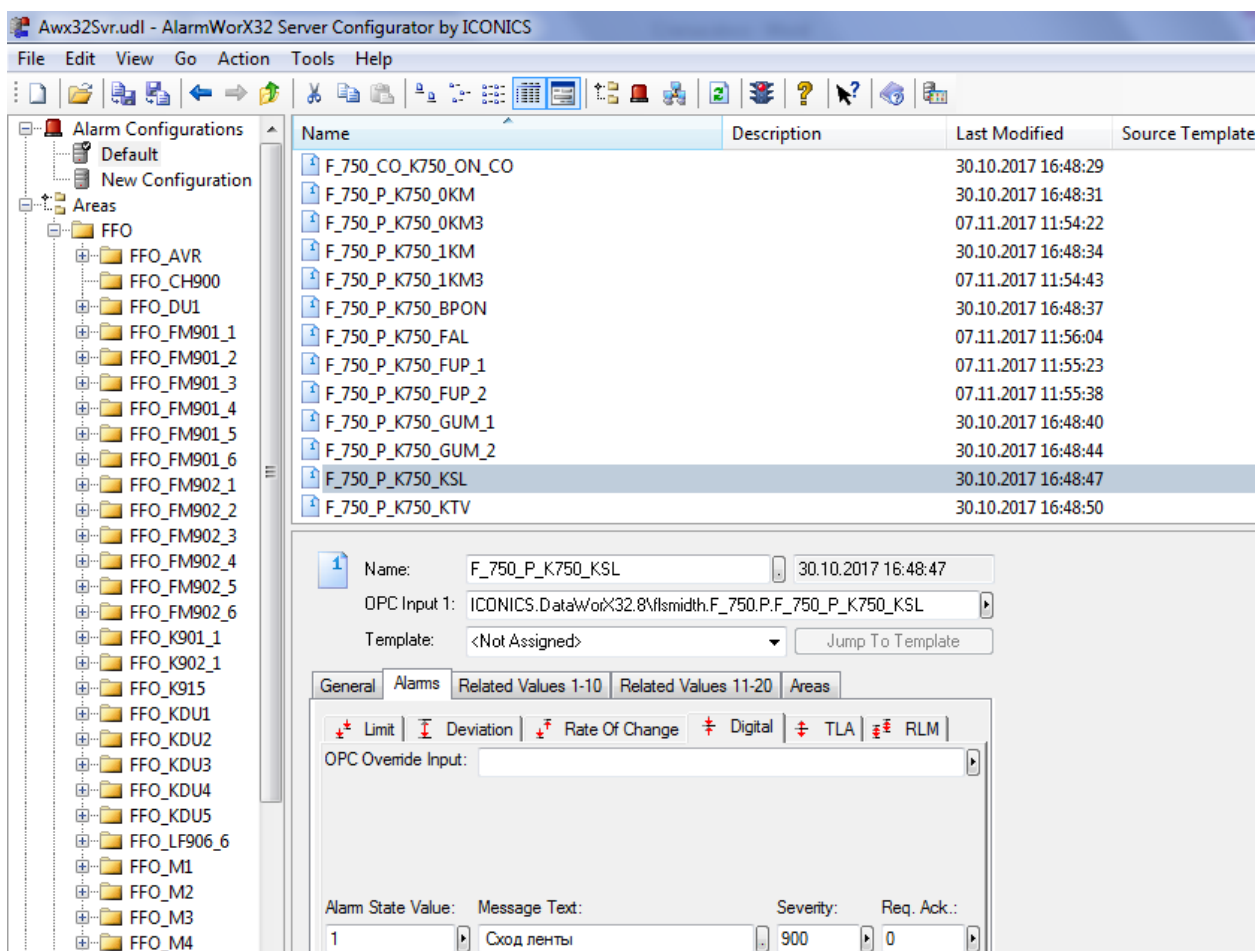


Рисунок 7 – Интерфейс конфигуратора аварийных событий AlarmWorX32

Этап 5. Отладка и размещение программного и информационного обеспечения АСУ ТП.

Процесс отладки мнемосхемы включал в себя поиск ошибок, проверку типовых ситуаций функционирования, тестирование коммуникационных протоколов. Основной метод отладки – имитационное моделирование. В процессе отладки была выявлена и устранена большая часть ошибок и недочетов, допущенных при создании мнемосхемы. После этого процесс создания мнемосхем был завершен. Готовые мнемосхемы были перенесены по информационной сети на рабочие станции диспетчера для выполнения рабочего процесса управления комплексом ОФ.

Вывод. При модернизации обогатительной фабрики ООО СП «Барзасское товарищество» был использован весь спектр возможностей программного комплекса Genesis32 компании Iconics, OPC сервера KEPServerEX компании Kerware. Применение данных программных средств позволило в кратчайшие сроки (6 месяцев) и без значительных затрат произвести модернизацию верхнего уровня АСУ ТП ОФ.

Работа выполнена по Госзаданию Минобрнауки России N8.8611.2017/8.9.

Библиографический список

1. Официальный сайт Iconics [Электронный ресурс]. - <http://www.iconics.com>
2. Официальный сайт Kerware [Электронный ресурс]. - <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/>

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ НА ВЫХОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В.

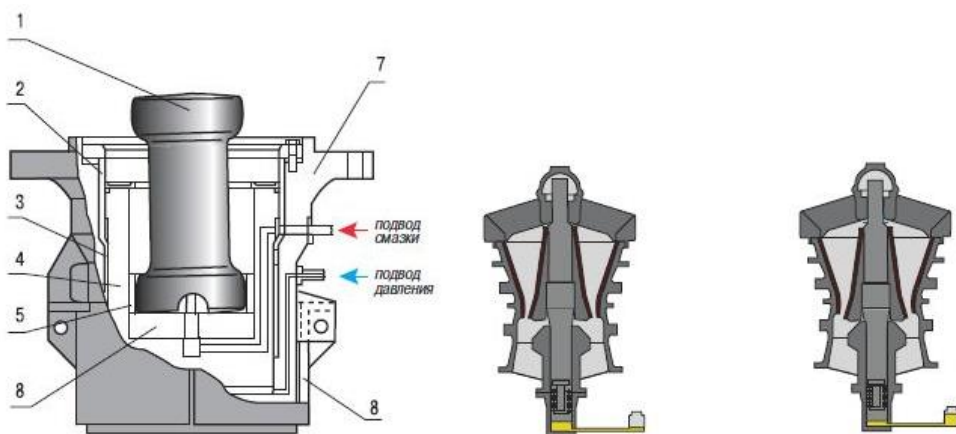
*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Конусная дробилка имеет неподвижный конус и эксцентрично вращающийся внутри его подвижный конус. В нижней части неподвижного конуса образуется рабочая щель, размер которой зависит от взаимного расположения обоих конусов. Руда между конусами раздавливается и сыплется из рабочей щели. Для сохранения размеров конусов их конусные поверхности покрыты броней – твердой сталью.

В дробилках завода Уралмаш, в отличие от машин с гидравлической опорой дробящего конуса, осевая нагрузка от дробления воспринимается большим сферическим подпятником, который жестко установлен в станине, без возможности каких либо перемещений. Функция регулирования разгрузочной щели реализуется посредством резьбового соединения опорного и регулирующего колец. За счет такого разделения функций обеспечивается постоянное поддержание заданного размера разгрузочной щели, вне зависимости от величины усилия дробления. Это, в свою очередь, обеспечивает стабильный гранулометрический состав продукта дробления.

Жесткое опирание дробящего конуса за счет разделения функций восприятия усилий от дробления и регулирования разгрузочной щели обеспечивает стабильный гранулометрический состав продукта за счет стабильного поддержания размера разгрузочной щели. Однако, по мере износа брони размер рабочей щели за рабочую смену заметно увеличивается, что приводит к изменению грансостава дробленой руды. Для регулирования размера рабочей щели изменяют по высоте положение верхнего конуса при остановленной подаче дробимого материала [4].

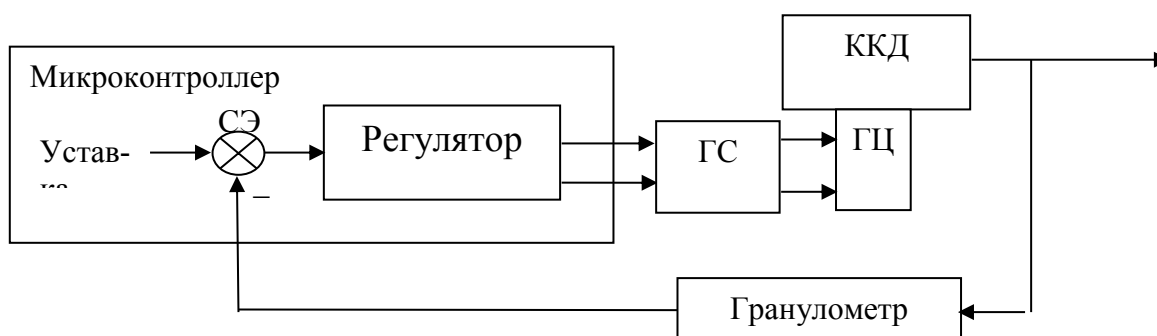
За рубежом выпускают конусные дробилки с гидравлической регулировкой рабочей щели (рисунок 1). Здесь нижний (дробящий) конус опирается на гидравлический цилиндр. При увеличении или уменьшении давление в цилиндре изменяется положение нижнего конуса и размер рабочей щели. По причине утечек масла из гидравлической системы стабильность размера рабочей щели недостаточна.



1 – опорный вал; 2 – втулка; 3 – уплотнение; 4 – плунжер; 5 – втулка; 6 – подпятник;
7 – корпус гидроцилиндра; 8 – броня; б – дробящий конус поднимается при нагнетании масла в гидроцилиндр; в – дробящий конус опускается при сливе масла из гидроцилиндра в бак

Рисунок 1 – Общий вид инерционной дробилки системы Механобр

Все элементы конусной дробилки испытывают сильные вибрации. По этой причине установить датчик положения дробящего конуса по высоте бесполезно. Систему автоматического регулирования предлагается замкнуть с помощью гранулометра, который измеряет какой-то представительский размер продукта (средний, минимальный). Структурная схема такой системы автоматического регулирования размера рабочей щели представлена на рисунке 2.

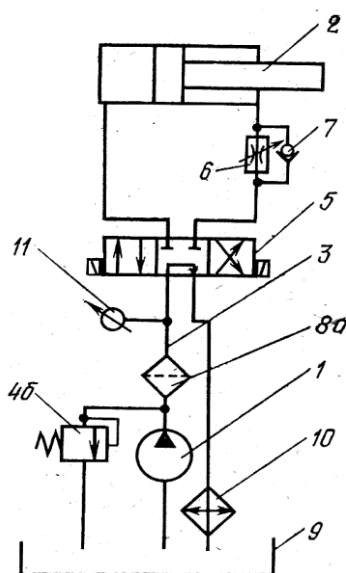


ГС – гидростанция; ГЦ – гидроцилиндр; ККД – конусная дробилка крупного дробления; СЭ – сравнивающий элемент

Рисунок 2 – структурная схема САР размера рабочей щели конусной дробилки

Из рабочей щели конусной дробилки крупного дробления (ККД) на конвейер сыплются куски дробленой руды. Их размеры лежат в определенных пределах. Гранулометр измеряет эти куски, вычисляет характерный размер и передает его на сравнивающее устройство (СЭ). Если этот размер отличается от заданного уставкой, то регулятор формирует сигналы на гидростанцию (ГС), которая подает масло под давлением в нужную область гидроцилиндра, поднимая или опуская подвижный нижний конус дробилки.

Гидростанция содержит гидравлический насос 1 (рисунок 3), фильтр 8а, подающую магистраль 3, трехпозиционный гидрораспределитель 5 типа 64-BAV-IC5-714-24DC, дроссель 6, защитный клапан 4б, охладитель масла 10, поддон 9, манометр 11. Гидроцилиндр со штоком 2 принадлежит конусной дробилке.



1 – гидравлический насос; фильтр 8а, 2 – шток гидроцилиндра; 3 – подающая магистраль; 4б – защитный клапан; 5 – трехпозиционный гидрораспределитель; 6 – дроссель; 9 – поддон; 10 – охладитель масла; 11 – манометр

Рисунок 3 – Схема гидростанции с рабочим цилиндром

Гидронасос работает непрерывно, что исключает из рассмотрения его динамические свойства. Передаточную функцию гидростанции на данном этапе проектирования примем равной

$$W_{gs} = 1.$$

Система является дискретной, так как гранулометр выдает сигнал периодически, регулятор реализован в виде программы, установленной на микроконтроллере SIMATIC S7-300 фирмы SIEMENS. Однако скорость обработки информации вычислительными средствами на несколько порядков превышает реакцию ККД на регулирующее воздействие. По этой причине далее эту систему можно рассчитать как непрерывную. Регулятор реализует ПИД закон регулирования.

Регулятор реализует физически реализуемую передаточную функцию ПИД-регулятора [7 – 13]

$$W_r(s) = k_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{0,25 T_d s + 1} \right), \quad (1)$$

где k_r – коэффициент передачи регулятора;

T_i – постоянная интегрирования;

T_d – постоянная дифференцирования.

Передаточную функцию гидроцилиндра примем равной

$$W_{gc} = \frac{1}{0,005s + 1}.$$

В результирующую передаточную функцию разомкнутой САУ входит компонента транспортного запаздывания, так как гранулометр вблизи конусной дробилки невозможно установить из-за пыли, которая отрицательно повлияет на работу видеокамеры. Скорость транспортера 2,5 м/с, гранулометр установим на расстоянии 10 м от конусной дробилки. Тогда транспортное запаздывание составит

$$\frac{10}{2,5} = 4 \text{ с.}$$

Транспортным запаздыванием в гидравлических трубопроводах на данном этапе пренебрежем.

Таким образом, передаточная функция разомкнутой САУ размера рабочей щели конусной дробилки крупного дробления имеет вид:

$$W_r(s) = k_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{0,25 T_d s + 1} \right) \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{0,005s + 1} \right) \cdot e^{-4s} \quad (2)$$

Назначим следующие начальные значения настроек регулятора:

$$k_r = 0,1;$$

$$T_i = 0,5;$$

$$T_d = 0,01.$$

Затем воспользуемся пакетом программ MATLAB, SIMULINK и блоком NCD Output для определения оптимальных значений этих настроек (рисунки 4, 5). Система оказалась жесткой. Для моделирования была выбрана программа ode15s (stiff/NDF) [2].

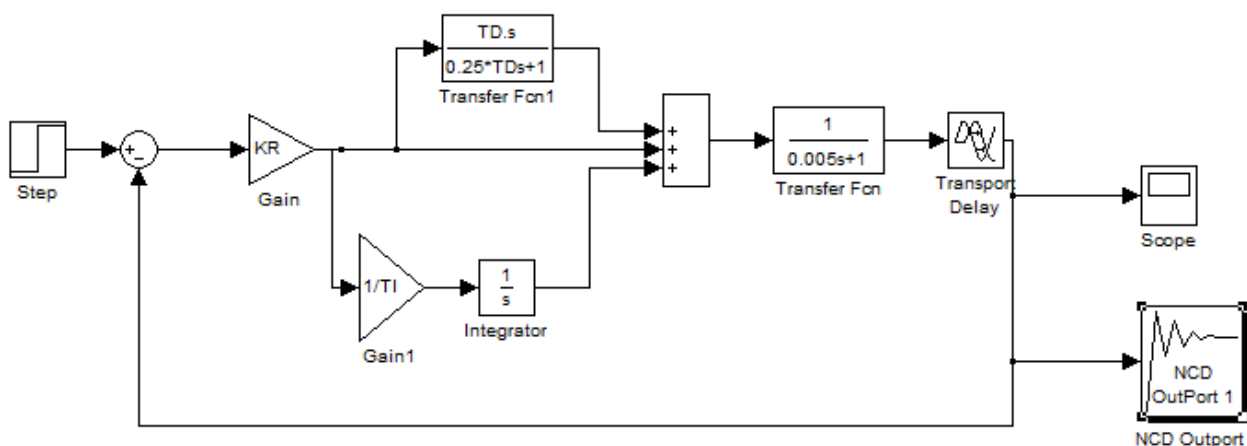


Рисунок 4 – Схема модели в пакете программ SIMULINK

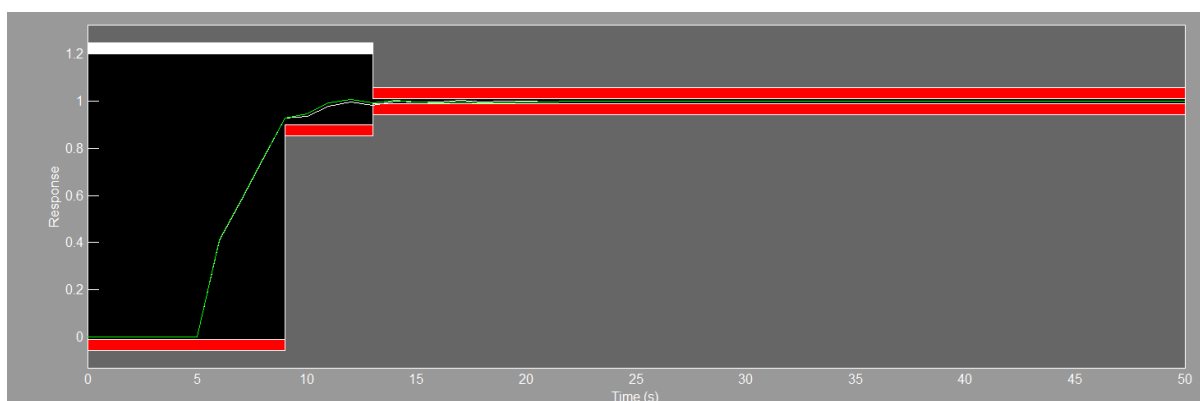


Рисунок 5 – Результат моделирования схемы с целью поиска оптимальных настроек регулятора

Получены следующие результаты.

Время регулирования 9 мин, из которых 4 мин – транспортная задержка.

Перерегулированием можно пренебречь.

Коэффициент передачи регулятора $k_r = 0,2393$;

Постоянная интегрирования $T_i = 1,3845$;

Постоянная дифференцирования $T_d = 0,0088$.

Выводы.

1. Применение системы автоматического регулирования, содержащей гранулометр, позволяет стабилизировать размер рабочей щели конусной дробилки с гидравлической системой регулирования размера рабочей щели.
2. Для реализации системы необходимо иметь качественный гранулометр [3, 4].

Библиографический список

1. Критерии для сравнения конусных дробилок. Режим доступа: <http://www.maxi-exkavator.ru/articles/crusher/~id=1830>.
2. Черных И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных; под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
3. Круглов В. Н. Проведение промышленных испытаний и модернизация системы оценки крупности дробленой руды «ГРАНИКС» // УГТУ-УПИ. Отчет о научно-исследовательской работе. – 2014.
4. Стародумов А. В. Автоматизированная система управления процессами 4сырых окатышей / А. В. Стародумов [и др.] // – Сталь. – 2008. – №12. – С. 37 – 39.

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РОБОТИЗАЦИИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Малахов Ю.В.

*Институт угля Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кемерово, Россия*

Введение

Разведанные запасы полезных ископаемых рудных и нерудных, а также пластовых месторождений в России и за рубежом составляют миллиарды тонн. Добыча полезных ископаемых с каждым годом ведется все в более сложных и опасных горно-геологических условиях, в отдалённых районах с суровыми климатическими условиями. Современное состояние технологии добычи полезных ископаемых в горнодобывающем комплексе характеризуется ростом нагрузки на очистные забои, увеличением темпов проведения подготовительных выработок, возрастанием глубины залегания.

При этом в большинстве своем добыча происходит существующим механизированным оборудованием не приспособленным для разработки месторождений полезных ископаемых без постоянного присутствия людей (персонала) в очистных и подготовительных забоях.

В настоящее время перед горной отраслью стоят масштабные задачи по проведению технологических преобразований, направленных на увеличение производительности труда, совершенствование системы безопасности горных работ, повышение эффективности разработки полезных ископаемых, в том числе в сложных горно-геологических и климатических условиях.

Дальнейшее развитие горнодобывающей отрасли будет тесно связано с использованием интеллектуальных систем управления горными работами, с переходом на роботизацию производственных процессов на основе полностью или частично роботизированной горной техники, с переходом на безлюдные технологии добычи полезных ископаемых [1, 2].

В настоящее время ведущие мировые изготовители горно-шахтного оборудования вкладывают свои средства в развитие новых образцов высокоинтеллектуальной горной техники. При этом осуществляется комплексный подход по формированию предложений для заказчиков, начиная от основного технологического оборудования и до вспомогательных машин и приспособлений. При этом упор делается на цифровые системы бортовой диагностики, внедрение систем контроля и автоматизации технологических процессов, уменьшая значение человеческого фактора и максимально приближаясь к использованию роботизированных комплексов [3].

Подходы к реализации технических решений в области роботизации технологических процессов в горной отрасли во многом зависят от способа разработки полезных ископаемых.

1. Методика. Открытая добыча

Так для открытой добычи полезных ископаемых основным направлением роботизации выбрано внедрение современных автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами с использованием спутниковой навигации. Основным техническим решением являются беспилотные системы - автономно работающие большегрузные автомобили, экскаваторы, транспортировка полезных ископаемых.

В горнодобывающей промышленности беспилотные машины очень важны: они существенно сокращают число водителей и затраты на эксплуатацию техники. Роботизированные самосвалы повышают производительность работы за счет изменения технологического процесса и уменьшения количества простоев, связанных с человеческими факторами. Управление беспилотной техникой может проводиться из удаленных диспетчерских центров. Использование беспилотных самосвалов может также повысить безопасность горных работ, снизить риски для человека на рабочих местах с опасными условиями эксплуатации, и избавить руководство горных компаний от необходимости поиска квалифицированных водителей самосвалов.

Мировыми лидерами по использованию беспилотных большегрузных автомобилей являются горнодобывающие компании из Канады, Австралии, Чили, ЮАР.

Так Британо-Австралийская компания «Rio Tinto Group» реализует в Австралии проект по строительству «Mine of the Future» (Шахту Будущего). На шахте перевозки всего добываемого материала (железной руды) осуществляются с помощью дистанционно управляемых самосвалов. Машинами управляют удаленно из операционного центра операторы, находящиеся в 1200 км от места добычи. Маршрут заложен в навигационную систему роботов-самосвалов, и они могут практически самостоятельно маневрировать по шахтам. В рамках проекта «Mine of the Future» компанией Terex Mining произведена автоматизация сложнейшего процесса бурения взрывных скважин для вскрыши породы. Робот-бурильщик осуществляет и контролирует процесс бурения, загружает взрывчатку, собирает данные с участка и передает на главный компьютер в центр управления. Проект нацелен на то, что роботы будут сами не только бурить шахты, вести взрывные работы, но и добывать руду, сортировать ее, отличая отходы. Автоматические самосвалы и поезда будут самостоятельно транспортировать сырье на перерабатывающие предприятия, где уже другое оборудование примет и переработает руду. И вся техника, используемая в производстве, будет дистанционно управляться из операционного центра.

Компания Rail-Veyor Technologies Global, Inc. Разработала робопоезд, представляющий собой объединение поезда и погрузчика-экскаватора в единую техническую систему. В шахте, погрузчик загружает железнодорожные вагоны рудой, и автоматизированный поезд проезжает через туннели на поверхность. Данная система так же управляется удаленно операторами, которые находятся на поверхности. В месте разгрузки, вагоны по очереди опрокидываются, чтобы высыпать груз. А поезд возвращается в шахту за новым грузом руды.

Российским лидером по разработке и внедрению технологий для создания роботизированных участков для открытых горных работ является компания «ВИСТ групп». Их проекты «Система управления «КАРЬЕР» и «Интеллектуальный Карьер» предназначены для реализации безлюдной работы всего горного оборудования карьера (экскаваторов, самосвалов, погрузчиков и другой техники) в автономном режиме и в режиме дистанционного управления. Эти решения позволяют оптимизировать процесс с экономической точки зрения путем повышения производительности горнотранспортного комплекса, сокращения издержек на эксплуатацию, а также возможного снижения требований к безопасности из-за исключения непосредственного человеческого участия в зоне горных работ [4].

Проект «Интеллектуальный Карьер» отражает мировую тенденцию развития горных технологий, в использовании роботизированной, беспилотной и дистанционно управляемой техники для добычи и транспортировки полезных ископаемых [5].

Одной из реализованных технологий безлюдной добычи полезных ископаемых можно считать комплекс глубокой разработки пластов (КГРП), который впервые был применен на угольных разрезах США в 70-х годах прошлого века. КГРП – это гибридная система, использующая в основном подземную технологию, с открытой поверхности зоны угольного разреза или специальной разрезной траншеи. Эта система способна добывать запасы угля по более выгодной себестоимости и в более сжатые сроки, чем при традиционном способе добычи. При использовании КГРП не требуется присутствия людей в очистном забое, это полностью автономная и мобильная система по добычи угля. Процесс врезания режущего модуля управляется оператором КГРП дистанционно, уголь от рабочего органа КГРП транспортируется по закрытым решеткам с помощью расположенных в них шнеков [6].

Современные модели КГРП, в зависимости от типа режущего модуля могут врезаться вглубь пласта на расстояние до 300 м. и отрабатывать угольные пласты мощностью от 1,1 м до 4,8 м с углами падения пласта по вертикали и горизонтали до 25°, а также пласты мощностью более 4,5 м с углами падения 50-90° [7].

В настоящее время мировым лидером по производству КГРП является компания CATERPILLAR под брендом CAT-SHM (США). Данная технология применяется в угольных компаниях США, Австралии, Южной Африки, Китая и России. В Кузбассе на разрезах «Во-

сточный», разрез «Ресурс» и «Распадский угольный разрез» используется КГРП изготовленный компанией SUPERIOR HIGHWALL MINERS (SHM), (США) [6].

2. Методика. Подземная добыча

При подземном способе разработки полезных ископаемых проведенный анализ современного состояния и использование технологий без постоянного присутствия людей в очистном забое в Российской и мировой практике показывает, что развитие полностью автономных роботизированных систем еще не получило достаточно широкого распространения. При этом с уверенностью можно отметить, что вектор технологического развития соответствует запросам горной отрасли на переход к применению безлюдных технологий.

На современном этапе к положительным примерам реализации технологических схем с элементами безлюдной технологий можно отнести: гидравлический способ добычи с выемкой угля гидромониторами-роботами, использование в выемочных участках шахт роботизированной струговой выемки угля, дистанционное управление технологическими процессами в комплексно-механизированной очистной лаве и применение выемочных комбайнов с дистанционным управлением [8].

Основные технологические и организационные решения по обеспечению технологических процессов без постоянного присутствия людей в очистных забоях включают поэтапное создание и внедрение элементов роботизированной технологии подземной угледобычи на пластах пологого падения тонких и средней мощности со спокойной гипсометрией при размерах выемочных блоков и панелей — в виде дальнейшего совершенствования технических средств автоматического управления процессами и операциями в длинных очистных забоях [9].

Это направление интенсивно развивается в Германии, США, КНР, Австралии. Имеется положительный опыт применения этих технических устройств в России.

Так, одним из направлений разработок пологих угольных пластов с применением безлюдной технологий является использование современных высокоэффективных автоматизированных струговых комплексов (АСК) для безлюдной отработки тонких угольных пластов. В этом направлении представлены зарубежные компании, такие как фирма DBT (Германия), фирма Caterpillar (CAT) (США). Примером может служить автоматизированные струговые комплексы CAT GH1600 способные добывать уголь любой крепости в режиме дозированной выемки при резании угля стругом на четкую заданную глубину стружки, независимо от его твердости, структуры пласта и геологических нарушений. Подсистемы струговой системы GH1600 взаимно увязаны и обеспечивают полную функциональную, параметрическую и контрактационную интегрированность оборудования АСК и способность его адаптации к изменениям горно-геологических условий, все это создает условия применения безлюдной технологии выемки угольных пластов на основе струговых комплексов с системой управления с применением интеллектуальных компонентов [10].

Китайский концерн China National Coal Group Corp. (СМЕ) в сотрудничестве с немецкой компанией EEP Elektro-Elektronik Pranjic произвел прорыв в автоматизации струговой выемки угля. За последние десять лет она поставила и ввела в эксплуатацию на шахтах КНР более 60 комплектов современного автоматического управления процессами выемки угля на пластах малой мощности в комбайновой и струговой лавах. Комплексная автоматизация управления предполагает измерение, управление и регулировку параметров технологического процесса. Проводится наблюдение за работой комбайнов с помощью камер в реальном времени с передачей сигнала по оптическому волокну. Как правило, подземный персонал требуется только для контролирования процесса добычи и при выполнении ремонта. Впервые эта технология полностью безлюдной выемки угля была использована концерном China National Coal Group Corp. (СМЕ) на шахтах Tang Shan Gou и Nan Liang [11].

В России первым технологию безлюдной выемки угля в подземных условиях применила компания ОАО «СУЭК-Кузбасс», которая на ш. Польшаевская в 2015 году запустила лаву робот. В основу системы легла совместная разработка специалистов ОАО «СУЭК-Кузбасс», и двух немецких производителей горно-шахтного оборудования MARCO (Германия) и EICKHOFF (Германия).

Контроль и управление забойным оборудованием осуществляется дистанционно, оператором из соседнего штрека благодаря использованию многочисленных датчиков, установленных на комбайне, силовой гидравлике секций крепи, а также специальных видеокамер, в том числе работающих в инфракрасном диапазоне. Компьютерная программа способна полностью в автоматическом режиме определять и производить наиболее эффективное движение комбайна, задвижку секций крепи, работу забойно-транспортного комплекса.

Сама лава оснащена 176 секциями шахтной крепи FRS Glinik -12/25 (Польша), специально изготовленными под параметры отработки пласта Бреевского. В комплектацию забоя польским оборудованием входят забойный конвейер FFC-9 Glinik, штрековый перегружатель FSL-9 Glinik, поворотное-передвижное устройство FBE-1200 Glinik, дробильная установка FLB-10G Glinik, насосные станции. Также лава оборудована очистным комбайном SL 300 EICKHOFF (Германия) [12].

Еще одним направлением подземной безлюдной добычи полезных ископаемых является скважинная гидродобыча (СГД) применяется при разработке крутопадающих и наклонных угольных пластов в сложных гидрогеологических условиях. Технология СГД является безлюдной, так как все операции отбойки и транспортирования угля осуществляются через скважины. Суть технологии СГД заключается во вскрытии угольного пласта скважинами, отбойке угля напорной струей воды, дезинтеграции его и переводе непосредственно в забое разрушенной массы в гидросмесь, транспортировании ее от забоя и подъеме на дневную поверхность. Основные проектные решения по применению технологий добычи угля на основе выбуривания пластов разработаны ООО «НТЦ-Геотехнология» (г. Красноярск) и реализованы при разработке более чем 10 участков недр на территории Российской Федерации [13].

Таким образом, на современных угольных шахтах имеются реализованные технологические схемы роботизации отдельных технологических процессов. На данном этапе развития роботизации при подземном способе разработки наиболее перспективным будет направление роботизации отдельных узлов и агрегатов в составе горных машин, связанных с процессом перемещения машин, дезинтеграции полезных ископаемых, транспортирования добытой массы. С учетом проведенного анализа можно отметить, что при подземной добычи процесс внедрения безлюдных технологий идет по пути: от внедрения отдельных элементов роботизированных технологий и процессов, к последовательному переходу на применение автономных автоматизированных роботизированных систем и комплексов интегрированных в интеллектуальную систему управления технологическими процессами на горном предприятии (шахте). Основное преимущество безлюдного способа выемки угля в подземном пространстве это - безопасность ведения работ в лаве, отсутствие человека в потенциально травмоопасных зонах, повышение качества добываемой горной массы.

3. Методика. Горноспасательные работы

Еще одно направление для использования робототехнических устройств в шахте, это горноспасательные работы. Роботы-спасатели вполне могут заменить человека, при обследовании мест аварий, оценки характеристики разрушений, измерения показателей газового и температурного состояния рудничной атмосферы. Как пример можно привести робот-спасатель корпорации “Канчэн” (Китай), который системой позиционирования и сбором информации, что позволяет ему самостоятельно попасть на место аварии, зафиксировать визуальную информацию о характере разрушений, передать информацию в штаб ликвидации аварии для принятия решений по ликвидации аварии [14].

Совместная разработка Польских институтов EMAG и Industrial Research Institute for Automation and Measurements, горнодобывающий робот GMR, предназначен для работы в выработках шахт с взрывоопасным метаном. Робот GMR предназначен для измерения концентрации метана, кислорода, окиси углерода, двуокиси углерода, и изменения температуры и влажности. Кроме того, робот может передать изображения, которые показывают условиях подземной среды в горной выработке. Используя эту информацию, спасательные операции можно осуществить быстрее и точнее, в результате горноспасательная команда будет

менее подвержена опасности, с выходом на место аварии [15].

Военизированные горноспасательные части МЧС России при проведении горноспасательных и восстановительных работ ставку ставят на применение дистанционно – управляемые робототехнические средства, обеспечивающие безлюдную работу механизмов в зоне обрушений. Среди предлагаемых к реализации решений по роботизированной горноспасательной техники можно отнести - мобильный многофункциональный горноспасательный комплекс (ММГСК) с дистанционным и автоматизированным управлением, с элементами роботизации отдельных функциональных модулей. [16] ММГСК строится на платформе - роботизированной шагающей крепи (поддерживающе-ограждающий шагающий модуль) с автоматизированной системой управления (АСУ) [2], которую предполагается использовать как элемент защиты горноспасательного оборудования и горноспасателей от падения кусков породы (от травматизма).

Заключение

Исходя из проведенного обзора, можно отметить - что вектор развития роботизации в горной промышленности имеет зависимость от условий залегания и способа добычи полезных ископаемых. Основными направлениями роботизации в горной промышленности являются: роботизация открытых горных работ, роботизация подземных горных работ, роботизация горного транспорта и роботизация горноспасательных работ.

Каждое направление имеет свои особенности по исполнению уровня роботизации технологического процесса и глубины автоматизации. При этом отмечается соблюдение принципа поэтапного выведения человека из производственного процесса. На текущем этапе наибольшее распространение имеет применение дистанционное управление технологическим горным оборудованием и машинами, на основе полученных данных оперативного контроля состояния технических устройств и визуализации производственного процесса. Отмечается активное введение элементов роботизации в исполнительные части горного оборудования. Следующим перспективным этапом должен стать уровень интеллектуальной горной техники, когда техническое устройство - горный робот, интегрированный в интеллектуальную систему управления горным технологическим процессом, будет самостоятельно принимать решения в соответствии с имеющейся информацией и алгоритмом действия.

В современной горнодобывающей промышленности сформирован спрос на потребность в квалифицированном персонале, обеспечение безопасности горных работ и людей, повышение уровня производительности и эффективности работ. Использование безлюдных технологий и роботизации в горной промышленности соответствует запросам отрасли, приводит к повышению производительности, снижению себестоимости работ и позволяет значительно снижать негативное воздействие на человека опасных производственных факторов.

К сожалению, в России работа по роботизации горных работ идет с запозданием и с отставанием от мирового тренда. Реализованные отечественные проекты по безлюдным технологиям, преимущественно основываются на зарубежных технических решениях, что показывает высокую импортзависимость горной отрасли от поставок зарубежного оборудования и систем автоматизации.

Учитывая масштабы горной промышленности, у роботизации в отрасли есть достаточное пространство для новых разработок и перспективы развития. Тренд внедрения безлюдных производств, роботизации и автоматизации в горной отрасли России и за рубежом станет в ближайшие годы одним из ключевых.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Разработка технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толици» (Уникальный идентификатор RFMEF160417X0173).

Библиографический список

1. Плаксина Л. С. Интенсификация инновационного процесса в угольной промышлен-

ности России. // Горная промышленность (журнал). – г. Москва. – 2011. – № 3 (97). – С.4-11.

2. Никитенко М. С., Малахов Ю. В., Никитенко С. М. Роботизированный комплекс по отработке мощных крутонаклонных пластов угля и рудных месторождений. // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал/ СибГИУ. – г. Новокузнецк. – 2017. – №3. – С.249-251.

3. Горное дело [Электронный ресурс]: научно-технический журнал / Основные мировые тенденции развития технологий и рынка горного оборудования. – Электрон. журн. – г. Москва. – 2017. – № 1(11) Март. – режим доступа к журн.: URL: <http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2017/1/#>.

4. Агентство стратегических инициатив [Электронный ресурс]: URL: <http://asi.ru/projects/7163/> (дата обращения: 10.10.2017).

5. Владимиров Д.Я. Интеллектуальный карьер: эволюция или революция? // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – г. Москва. – 2015. – № S1-1. – С.77-82.

6. Евразийский научный журнал [Электронный ресурс]: Особенности применения комплекса глубокой разработки пластов на разрезах Кузбасса. - Электрон. журн. – г. Санкт-Петербург. – 2016. – № 4 (апрель). – режим доступа к журн.: URL: <http://journalpro.ru/articles/osobennosti-primeneniya-kompleksa-glubokoy-razrabotki-plastov-na-razrezakh-kuzbassa/>.

7. Нецветаев А.Г., Григорян А. А., Пружина. Д.И. Развитие технологии безлюдной угледобычи с применением комплексов КГРП // Горная Промышленность (журнал). – г. Москва. – 2015. – № №4 (122). – С.87.

8. Фрянов В.Н. Робот в очистном забое. Перспективы развития и внедрения технологий подземной угледобычи без постоянного присутствия людей. // Уголь Кузбасса. – г. Кемерово. – 2014. – № 06 (ноябрь-декабрь). – С.32-35.

9. Фрянов В.Н., Павлова Л.Д. Перспективы применения роботизированной механо-гидравлической выемки газоносных угольных пластов на больших глубинах. // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал / СибГИУ. – г. Новокузнецк. – 2016. – №3. – С.19-27.

10. Гуляев В.Г. Актуальность и проблемы создания автоматизированных струговых комплексов для безлюдной выемки пологих тонких угольных пластов донецкого бассейна. // Вестник Донецкого национального технического университета. – г. Донецк. – 2016. – № 6 (6). – с.24-34.

11. Райнеш Е. Робот за рулем. «Интеллектуальные карьеры», «умные машины» и безопасное будущее // Уголь Кузбасса. – г. Кемерово. – 2017. – № 03 (май-июнь). – С.22-26.

12. Кузбасс [Электронный ресурс]: ежедневная областная газета. / 13 августа 2015. – Электрон. журн. – Кемерово. – 2015 - . – режим доступа к журн.: <http://kuzbass85.ru/2015/08/13/vpervyie-v-rossii-vvedena-v-ekspluatatsiyu-lava-pozvolayushhaya-osushhestvlyat-bezlyudnyu-vyemku-uglya/>

13. Григорян А. А., Галеев Р. Р., Каплан А. В., Лапаев В. Н. Развитие технологий добычи малоценных запасов углей. // Рациональное освоение недр. – Научно-технический и методический журнал. – 2014. – № 4. – с 23-28.

14. Певзнер Л.Д., Ким М.Л. Робототехнические средства и системы для решения задач ликвидации аварий в шахтах.// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – г. Москва. – 2016. – № S1. – С.215-223.

15. Robomaniac. Мехатроника и искусственный интеллект [Электронный ресурс]: URL: http://robomaniac.com.ua/news/Industrial/New_robot_will_help_rescuers_news.html (дата обращения: 10.10.2017).

16. Ярош А. С., Бунин В. И., Малахов Ю. В., Попов В. Б., Голик А. С., Черепов А. А. Обоснование разработки мобильного многофункционального горноспасательного комплекса, с элементами роботизации, для ликвидации последствий аварий в горных выработках шахт и рудников. // ВЕСТНИК Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – г. Кемерово. – 2017. – Выпуск 3. – С.46-51.

СЕКЦИЯ 3

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА

Баркалов С.А., Насонова Т.В., Калинина Н.Ю.

*Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

Важнейшей составной частью стратегии любой организации является её кадровая политика - система правил и норм, приводящих человеческий ресурс в соответствие со стратегическими целями организации. Инструментом обеспечения такого соответствия служит система развития компетентности персонала, выполняющая задачи оценки и развития компетенций, необходимых сотрудникам на каждом этапе развития организации.

Для разработки содержания и методов обучения, которые смогут помочь в достижении целей обучения и целей организации, необходимо выявить качественную и количественную потребности в обучении. Количественная потребность определяет число работников разных категорий, нуждающихся в обучении, а качественная - характеризует те компетенции, которые требует формирования или развития у данных работников. Поэтому важным инструментом выявления потребности в обучении является оценка (аттестация) персонала, основанная на компетентностном подходе. Таким образом, оценка и развитие компетенций являются взаимосвязанными элементами системы развития компетентности персонала.

Компетентность трактуется как обладание специалистом соответствующими компетенциями - устойчивыми характеристиками человеческой личности, предопределяющей поведение человека во множестве ситуаций и рабочих задач [4]. В основе компетенции лежат базовые свойства личности человека (рис.1). Самыми глубокими из них являются психофизиологические свойства и мотивы – оценить и развить их труднее всего. Ценности и установки формируются под влиянием факторов внешней среды (воспитание в семье, коллективе, корпоративная культура). Проще всего в этой цепочке, формируются новые знания, умения и навыки.

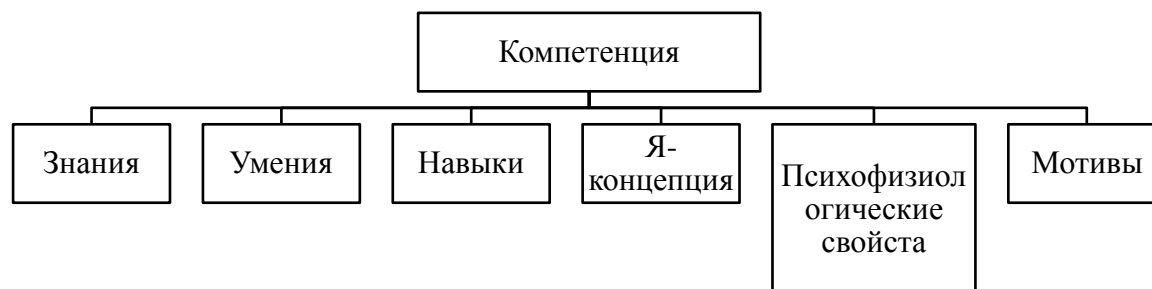


Рисунок 1 – Структура компетенции

На практике компетентность проявляется как способность решать рабочие задачи, а компетенции - как стандарты поведения, обеспечивающие эту способность. В аналитическом виде компетентность может быть представлена в виде формулы: Компетентность = (компетенция 1 + компетенция 2 + + компетенция n) + С, где n – число компетенций, входящих в данную компетентность, С- результат синергетического эффекта. Для оценивания компетентности работников может быть использована модель, предложенная в [5].

Существуют различные стратегии повышения уровня компетентности персонала организации [3]. Первая - это стратегия обучения, при которой организация тратит определенные средства для повышения уровня компетентности сотрудников в той или иной области деятельности. Вторая - это стратегия найма и увольнения, при которой организация принимает на работу сотрудника, имеющего высокий уровень компетентности в той или иной области деятельности, увольняя соответствующего сотрудника, не имеющего высокого уровня

компетентности. И третья - это стратегия переназначения, при которой организация меняет местами сотрудников.

Рассмотрим стратегию обучения, которая заключается в определении множества сотрудников, уровень компетентности которых желательно повысить, и в определении тех областей деятельности, в которых желательно повышение уровня компетентности работающих в них сотрудников.

Примем, что структура распределения объемов работ не меняется при росте уровня компетентности сотрудников. В этом случае повышение уровня компетентности сотрудника в области работ, которые ему назначены, повысит уровень выполнения именно этих работ. Для формальной постановки задачи обозначим K_{ij} - затраты на обучение сотрудника j (на повышение уровня его компетентности) в области работ i -го типа. Очевидно, это увеличит объем работ, выполняемых сотрудниками с высоким уровнем компетентности, на величину x_{ij} . Обозначим $y_{ij} = 1$, если сотрудник i , которому назначены работы j -го типа в объеме x_{ij} , направлен на обучение, $y_{ij} = 0$ в противном случае; $T(x)$ - множество пар (i, j) таких, что $x_{ij} > 0$ и сотрудник j имеет нормальный уровень компетентности в области деятельности j .

Задача. Определить y_{ij} , $(i, j) \in T(x)$, максимизирующие

$$\Delta(x, y) = \sum_{(i,j) \in T(x)} x_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

при ограничении

$$\sum_{(i,j) \in T(x)} K_{ij} y_{ij} \leq H, \quad (2)$$

где H – средства, выделенные на обучение.

Это классическая задача о ранце, эффективно решаемая при целочисленных значениях параметров методом дихотомического программирования [2].

Пример. Рассмотрим сеть на рис. 2. В организации n сотрудников, которые должны выполнять за планируемый период m видов работ. Пропускные способности входных и выходных дуг указаны у дуг.

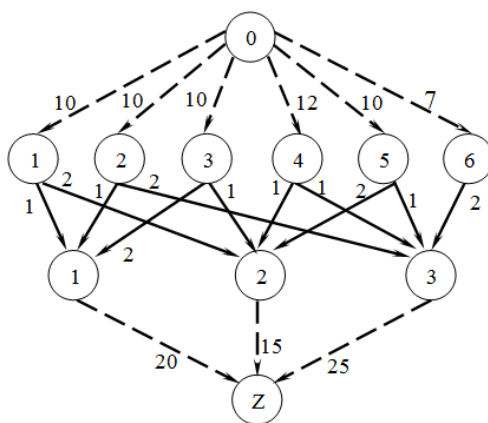


Рисунок 2 - Пример распределения работ

Рассмотрим объемы работ по дугам с цифрой 2. Имеем $x_{42} = 4$, $x_{43} = 8$, i, j , $x_{52} = 10$, $9y_{11} + 4y_{42} + 8y_{43}$. Заметим, что сотрудник 2 перегружен, так как $10y_{11} + 6y_{42} + 3y_{43} \leq 4$.

Определяем поток максимальной величины для оставшихся работ с учетом ограничений на пропускные способности выходных дуг. Алгоритм определения потока максимальной

величины известен [1]. Поэтому приведем результат: $x_{43} = 8$.

Осталась нераспределенной 4 ед. работы 4. Назначаем ее сотруднику 2, $\frac{800}{59} \approx 13,5\%$.

Имеем $x_{11} = 5, x_{12} = 5, x_{23} = 10$.

Принимаем вершину 2 второго уровня за вход сети, а вершину 1 второго уровня за выход сети (рис. 3).

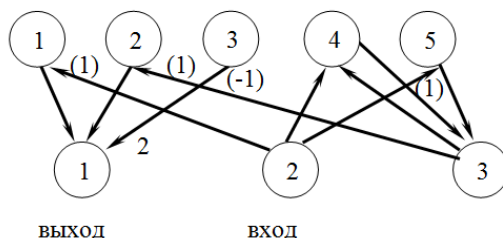


Рисунок 3 - Пример распределения работ

Длины дуг с цифрой 2 указаны у дуг. Длины остальных дуг равны 0. Вершина бисключена, поскольку нет ни одного пути из входа в выход, проходящего через вершину 6.

Существует три пути из вершины 2 в вершину 1: $x_{21} = 4$ длины 1, $x_{23} = 6$ длины 1 и $x_{43} = 12$ длины 2. По пути $x_{52} = 10$ можно переназначить все 9 единиц работы 1. Поэтому выбираем путь μ_1 .

В результате решения задачи повышения уровня компетентности персонала организации путем назначения распределения работ по специалистам, имеем оптимальное решение:

$$y_{43} = 1, y_{12} = 1, \frac{1200}{59} \approx 20,3\%, h_{ij}, r_j, z_j, j \in L, \sum_{j \in L} r_j z_j.$$

Объем работ, выполненный с высоким уровнем компетентности, равен 28 единицам, что составляет $\sum_{j \in L} z_j d_j \leq D$, что свидетельствует о достаточно высоком уровне компетентности организации.

Рассмотрим полученное распределение работ. Пусть множество $T(x)$ состоит из трех пар (1,1), (4,2) и (4,3) с объемами $Y = 18 + 8 = 26, \approx, (\overline{1,3})$. Значения затрат на обучение приведены ниже.

(i, j)	(1,1)	(4,2)	(4,3)
h_{ij}	10	6	3

Принимаем $H = 4$. Решаем задачу максимизации: $\overline{x_i}$, при ограничении x_i . Ее решение очевидно: $y_{43} = 1$. Увеличение уровня компетентности составляет x_i^{\max} .

Пусть, однако, осуществляется обучение сотрудника 1 работе в области деятельности 2. Однако существует оптимальное распределение $z = \sum_{i=1}^n \alpha_i \overline{x_i}$, $z, \alpha_i, i, \overline{x_i}, i, x_{52} = 10, z$, в котором сотрудник 1 задействован в области деятельности 2. В этом случае оптимальная стратегия обучения - это α_i и i с увеличением уровня компетентности на $\overline{x_i}$.

Рассмотренный пример подсказывает простое эвристическое правило: при решении задачи определения оптимального потока следует рассматривать увеличение потоков по дугам в очередности возрастания величины h_{ij} , то есть затрат на обучение. Заметим, однако, что задача определения оптимальной стратегии обучения с учетом возможности перераспре-

деления объемов работ ждет своего решения.

Библиографический список

1. Бурков В.Н. Теория графов в управлении организационными системами / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 265 с.
2. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации / И.В. Буркова // Автоматика и телемеханика. – 2009. - № 10. – С. 15–21.
3. Ириков В.А. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста / В.А. Ириков Д.А. Новиков, В.Н. Тренёв. – М: ИПУ РАН, 2009, – 228 с.
4. Насонова, Т.В. Задачи повышения уровня компетентности персонала организации / С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, Т.В. Насонова // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – № 3.1 (25). – С. 110-116.
5. Насонова Т.В. Модель оценивания профессиональной пригодности работников, основанная на теории латентных переменных / С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, С.И. Моисеев, Т.В. Насонова // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – № 1.1 (23). – С. 140-149.

WEB-СЕРВИС «ОТЧЕТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ»

Гурин И.А., Декун Н.И., Лавров В.В., Спирин Н.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Важной составляющей работы преподавателя или научного работника является не только выполнение исследований, но и публикация их результатов в печатных периодических изданиях, монографиях, а также получение охранных документов на объекты интеллектуальной собственности (патентов, свидетельств государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных). Научные публикации и охранные документы являются одним из показателей результативности научно-исследовательской работы преподавателя в определенной сфере научного направления.

Результаты научно-исследовательской работы отражаются не только в ежегодном отчете о выполнении индивидуального плана, но и в заявках на участие в различных конкурсах, грантах и т.д. С другой стороны, представление работ в российских и зарубежных изданиях, индексируемых разными наукометрическими базами данных, требует систематизации результатов.

Поиск сервисов, позволяющих автоматизировать формирование отчета по научно-исследовательской работе, показал их недостаточную функциональность (отсутствие возможности экспорта и импорта данных, фильтрации результатов и пр.) и точность (сбор сведений по одному виду работ или только из одной наукометрической базы данных). Поэтому авторами разработана концепция простого и общедоступного сервиса «Отчет по научно-исследовательской работе преподавателя». Синонимом простого и общедоступного приложения в наше время является веб-приложение, что определило выбор технологии для последующей разработки.

Веб-сервис предоставляет возможность сформировать отчет по научно-исследовательской работе по заданным критериям, сгенерировать библиографическую ссылку на определенную работу. Пользователями сервиса являются научные работники, преподаватели и студенты вузов. Первичными (основными) функциональными возможностями сервиса являются:

Регистрация на сайте. Регистрация включает заполнение следующих полей: фамилия, имя, отчество, пол, дата рождения, учебное заведение (выбор из списка), должность (выбор

из списка), ученое звание (выбор из списка), ученая степень (выбор из списка), контактный телефон, адрес электронной почты и пароль. Наличие развернутой личной информации объясняется функциями получения уведомлений, добавления работ с выбором автора из выпадающего списка. После регистрации для входа в систему используется связка «адрес электронной почты и пароль», а для восстановления забытого пароля используется адрес электронной почты или контактный номер телефона.

Новости сервиса. Задача новостей – довести до пользователей информацию о новых функциональных возможностях и достижениях.

Добавление работ. Работа включает следующие поля: название научного труда, тип (научная статья, монография, конференция, учебное пособие, патент, научно-исследовательская работа, премия, награда, диплом, диссертация), дата (месяц и год), объем и номера страниц, название издания, издательство, список авторов, номера тома и журнала (для научных статей), дата и место проведения (для конференций), номер и дата регистрации (для патентов). При наличии указывается идентификатор цифрового объекта DOI, ссылка на веб-страницу, подтверждающую наличие работы, а также список наличия научной статьи или конференции в наукометрических базах данных РИНЦ, Scopus и Web of Science. Имеется возможность прикрепить один файл с содержанием статьи или сканированным документом, подтверждающим получение патента, премии, диплома (форматы PDF, DOC(X), JPEG, PNG).

Список авторов является не текстовым полем, а добавляемым. Добавление нового автора происходит из списка зарегистрированных в системе пользователей, а при отсутствии – из текстового поля. По умолчанию список авторов содержит имя автора, который добавляет документ. Это означает, что пользователь системы может добавлять только работы, где он является соавтором. На рисунке 1 представлен прототип страницы добавления новой работы.

The screenshot shows a web browser window with the URL www.otchet.ru. The top navigation bar contains icons for 'Поиск' (Search), 'Новости' (News), 'Зарегистрироваться' (Register), and 'Войти' (Login). Below the navigation bar is a main form with four tabs: 'Основные данные' (Basic data), 'Добавить' (Add), 'Список работ' (List of works), and 'Поиск' (Search). The 'Добавить' tab is selected, displaying the following fields and controls:

- Название научного**: A text input field.
- Тип научного труда**: A dropdown menu with options: научная статья, монография, учебное пособие, патент, научно-исследовательская работа, премия, награда, диплом, диссертация.
- Дата публикации**: A calendar for August 2017, with the 1st day selected.
- Объем**: A text input field labeled 'Количество страниц'.
- Издательство**: A text input field.
- Автор**: A dropdown menu with a list of authors: Иванов А. А., Гурин И. А., Декун Н. И., Лавров В. В., Носков В. Ю., Спирын Н. А. A blue '+' button and a 'Добавить автора' button are next to the dropdown.

At the bottom of the form, there are three buttons: a blue '+' button, a button labeled 'Добавить работу в pdf,word', and two orange buttons labeled 'Добавить' and 'Далее'.

Рисунок 1 – Прототип страницы добавления новой работы

Добавление новых работ осуществляется либо вручную, либо с помощью функции поиска возможных работ. Это означает, что работа, добавленная ранее другим пользователем системы и её соавтором, может быть найдена по имени пользователя, а затем добавлена в список его работ. Планируется внедрение функции автоматического экспорта работ из следующих наукометрических баз данных:

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ, elibrary.ru). РИНЦ – это национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 миллионов публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций из более 6000 российских журналов. Она предназначена не только для оперативного обеспечения научных исследований актуальной справочно-библиографической информацией, но является также мощным аналитическим инструментом, позволяющим осуществлять оценку результативности и эффективности деятельности научно-исследовательских организаций, ученых, уровень научных журналов [1]. У каждого зарегистрированного автора в системе имеется идентификатор (authorid), благодаря которому можно получить список работ. Помимо идентификатора автора, каждая публикация имеет свой идентификатор, по которому можно получить информацию.

Scopus. Scopus (www.scopus.com) – это составная часть интегрированной научно-информационной среды Sci Verse (поэтому полное официальное название продукта SciVerse Scopus). Это реферативная база данных и наукометрическая платформа, которая была создана в 2004 году издательской корпорацией Elsevier. Scopus содержит более 53 млн реферативных записей и около 2 млн добавляется ежегодно [2]. В этой системе также присутствует идентификатор Author ID, по которому можно получить страницу со списком всех работ автора.

Web of Science (WoS, webofknowledge.com). WoS – это базис глобальной электронной научно-информационной среды Web of Knowledge компании Thomson Reuters. Он предлагает доступ к 12 тыс. названий наиболее авторитетных академических журналов, а также сборников научных трудов и комплектов первичных научных данных [2]. В этой системе нет уникального идентификатора, однако другой сервис ReseacherID хранит структурированные по авторам выходные данные индексируемых в этой базе публикаций. Таким образом, зная идентификатор Reseacher ID, можно получить список статей автора в Web of Science.

Список работ. Он представляет собой таблицу, в которой указываются основные данные: название и тип работы, год публикации, объем работы и издательство, авторский коллектив. Имеется возможность сортировки по убыванию или по возрастанию любого из этих полей.

Имеется возможность выборки (фильтрации) работ по следующим критериям: год публикации (диапазон), тип публикации (один или несколько), наличие в одной или нескольких наукометрических базах данных, члены авторского коллектива.

Сформированный список работ может быть отправлен на печать со страницы веб-браузера, а также экспортирован в файл программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel. Первый вариант позволяет быстро получить печатный экземпляр выборки, а второй позволяет эффективно дополнительно обработать результаты или экспортировать их в другой формат (документы PDF, Microsoft Word и др.).

Существует два варианта экспорта списка работ:

- 1) табличный формат с возможностью указания экспортируемых полей;
- 2) текстовый формат в виде библиографического списка (обычный, расширенный, в транслите).

На рисунке 2 представлен прототип страницы со списком работ.

В результате разработки концепции веб-сервиса «Отчет по научно-исследовательской работе преподавателя» сформированы цели и задачи создания сервиса, сформулирован список основных функциональных возможностей и созданы прототипы соответствующих страниц сервиса, выполнено концептуальное и физическое проектирование базы данных.

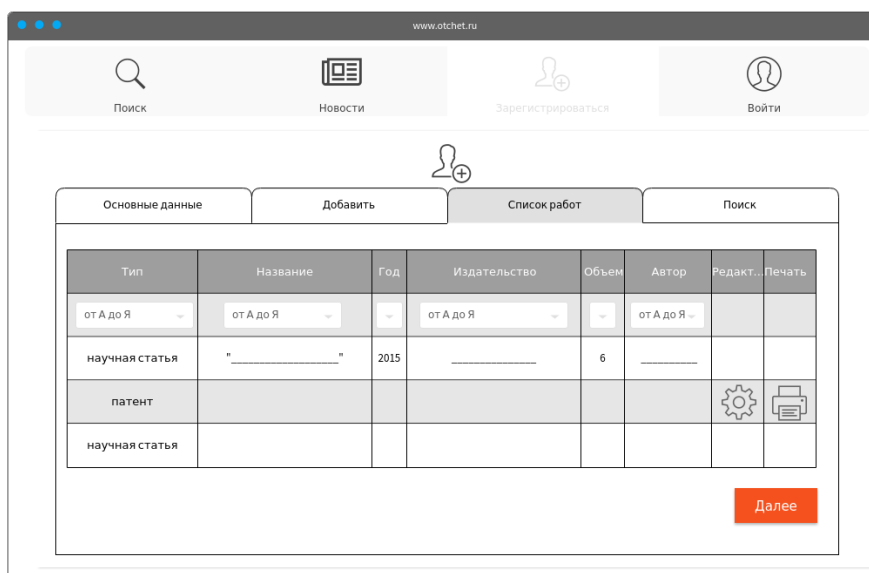


Рисунок 2 – Страница со списком работ пользователя системы

Библиографический список

1. Российский индекс научного цитирования [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека: [web-сайт]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/project_risc.asp (дата обращения 01.10.2017).
2. Наукометрические базы данных [Электронный ресурс] // Донецкий национальный технический университет: [web-сайт]. – Режим доступа: <http://science.donntu.org/naukometricheskie-bazi-dannikh> (дата обращения 01.10.2017).

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНАТОРНО-ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОДХОДА

Азарнова Т.В., Каширина И.Л., Ухин А.Л.

*Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия*

Введение

Задача составления учебных расписаний является давно и широко обсуждаемой. На тему ее автоматизации написано сотни научных статей и книг [1-6]. Однако достаточно универсального инструмента для составления расписаний до сих пор так и не разработано. Очевидная причина заключается в том, что задача автоматического составления расписания учебных занятий является весьма сложной. Такая ситуация возникает из-за вовлеченности в расписание большого количества людей со своими интересами и требованиями, удовлетворение которых часто приводит к конфликтным ситуациям. Как правило, постановки задач составления расписаний учебных занятий имеют комбинаторный характер и большое число переменных. Точное решение такой задачи практически невозможно получить за приемлемое время. С другой стороны, применяемые для этих задач приближенные алгоритмы, могут не только давать большую погрешность, но и, зачастую, формируют недопустимые варианты решения. В связи с этим по-прежнему актуальной задачей является разработка методов, обеспечивающих существенное снижение вычислительной сложности, но при этом незначительно снижающих вычислительную точность.

Современный подход к решению задач теории расписаний опирается на разработку

численных алгоритмов, характеризующихся полиномиальной зависимостью времени счёта от размерности задачи, но имеющих точность решения, близкую к оптимальной. При этом, согласно данным многих исследований, большое значение имеет оптимизация информационных процессов на этапе постановки задачи, суть которой заключается в придании исходным данным структуры, способствующей наиболее эффективной работе применяемого далее алгоритма решения.

При решении задач составления расписаний учебных занятий хорошо себя зарекомендовали эволюционно-генетические алгоритмы [7], которые являются на сегодняшний день наиболее гибкими из всех известных инструментов приближенного решения оптимизационных задач. Однако оценка точности решения, полученного с помощью генетического алгоритма, как правило, затруднена, поэтому такие алгоритмы наиболее целесообразно использовать в качестве инструмента повышения эксплуатационных характеристик точных методов. Например, решения, найденные генетическим алгоритмом, могут использоваться в качестве начального рекордного значения в методе ветвей и границ. Как известно, хороший начальный рекорд может существенно ускорить время работы этого метода. Таким образом, для решения задачи составления расписаний учебных занятий необходимо выбрать структуру данных, позволяющую снизить размерность задачи и ориентированную на последующее использование генетического и комбинаторного алгоритмов.

Материалы и методы

Постановку задачи можно сформулировать следующим образом. Исходными данными в задаче составления расписания учебных занятий являются: множество преподавателей P ; множество учебных групп K ; множество учебных дисциплин (предметов) для каждой группы U ; множество аудиторий A ; учебный план, указывающий каждой учебной группе количество часов по каждому из изучаемых предметов. Необходимо построить расписание, обеспечивающее проведение всех занятий без накладок относительно аудиторий и без «окон» для обучающихся, удовлетворяющее санитарно-эпидемиологическим требованиям к образовательным учреждениям, а также, по возможности, учитывающее пожелания преподавателей.

За основу для моделирования выбирается объектный подход, предложенный авторами данной статьи в работе [3]. По результатам вычислительных экспериментов именно объектная структура данных оказалась наиболее удачной для последующего решения задачи генетическим алгоритмом, а затем комбинаторным алгоритмом.

В качестве основного элемента моделирования используется класс «Предмет», объекты которого обладают следующими свойствами: название предмета, учебная группа, в которой он преподаётся, ФИО преподавателя, номера аудиторий, в которых должен преподаваться этот предмет (либо указание, что специализированные аудитории для него отсутствуют). Все объекты-предметы нумеруются в произвольном порядке числами от 1 до n , причем количество экземпляров каждого объекта, участвующих в нумерации, равно количеству часов в неделю данного предмета в соответствующей учебной группе. Расписание представляет собой таблицу, ячейки которой также пронумерованы специальным образом. Предварительно фиксируется структура будущего расписания, то есть указываются ячейки, которые не будут участвовать в построении расписания. Если структура расписания будет жестко зафиксирована (то есть количество ячеек, участвующих в расписании, окажется в точности равно количеству учебных часов в неделю в данной группе) – это будет гарантировать отсутствие окон у обучающихся.

Далее для каждого объекта-предмета под номером k вводится в рассмотрение еще одно свойство: множество $I(k)$ номеров строк расписания, на которых может находиться данный предмет (в соответствии с учебным планом и пожеланиями преподавателя, который его ведет). Соответственно, могут быть сформированы множества $K_j(i)$ - номера предметов j -ой учебной группы, которые могут быть стоять в i -й строке расписания.

Обозначим через Y – матрицу размера $p \times q$, где $y_{ij} = k$, если в j -ой учебной группе на i -той строке расписания находится объект-предмет с номером k , и $y_{ij} = 0$, если в j -ой

учебной группе i -тая ячейка расписания пустая; здесь p – общее количество строк в таблице-расписании, q – общее количество учебных групп. Тогда j -й столбец матрицы Y – это вектор-расписание, соответствующее j -ой учебной группе. Такая структура данных приводит к относительно приемлемой размерности получаемой задачи. Так, если расписание строится на 6 дней с максимальной нагрузкой 6 уроков в день для 4-11 классов, в каждом из которых по 4 параллели, то число переменных равно $6 \times 6 \times 32 = 1152$, что существенно меньше, чем при использовании других подходов к моделированию [4,5], когда при тех же исходных данных число переменных может достигать 100 тысяч (и более).

Рассмотрим матрицу совместимости объектов-предметов S , которая вводится следующим образом: $S(k, r) = 0$, если предмет k совместим с предметом r , $S(k, r) = 1$ в противном случае. Предметы являются несовместимыми, если они используют общий ресурс (преподавателя или аудиторию). Такие предметы не могут находиться в расписании на одной строке (то есть преподаваться одновременно). Несовместимость между предметами, проводимыми в одной учебной группе можно не учитывать, так как в матрице Y они находятся в одном столбце, соответственно, автоматически не могут находиться на одной строке. В качестве целевой функция предлагается использовать суммарное количество несовместимых предметов в каждой строке:

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{l=j+1}^q S(y_{ij}, y_{il}) \rightarrow \min \quad (1)$$

Таким образом, матрица $Y = (y_{ij})$ хранит перестановку чисел от 1 до n – по числу объектов-предметов, участвующих в расписании, и содержит $pq-n$ нулевых элементов (стоящих на фиксированных местах и не участвующих в перестроении расписания). При этом равенство $y_{ij} = k$ может выполняться только в случае, если $k \in K_j(i)$.

Очевидно, что оптимальное значение функции (1) равно 0. Достижение этого предела является обязательным условием для получения приемлемого расписания. Эта функция будет использована при вычислении критерия приспособленности генетического алгоритма, который работает с переменными y_{ij} . Алгоритм перестраивает матрицу $Y = (y_{ij})$. таким образом, что элементы матрицы будут менять положение только в пределах своего столбца. При кроссовере часть столбцов случайным образом берется от одного родителя, часть от другого. Таким образом, потомки всегда будут представлять допустимые решения. Мутация с некоторой вероятностью меняет местами элементы одного столбца; это случайно выбранные элементы (участвующие в расписании), обмен которых также всегда дает допустимое решение. Оценка особей популяции осуществляется с помощью целевой функции (1). Так как эта функция минимизируется, то в качестве критерия отбора целесообразно использовать турнирный отбор.

Важной положительной характеристикой предлагаемого алгоритма является простое включение в рассмотрение дополнительных критериев эффективности, улучшающих качество расписания. Сюда можно отнести:

1. *Возможность не фиксировать четко границы расписания.* Для этого добавляется фиктивный объект, с определенными свойствами, и по окончании работы алгоритма, ячейка с фиктивным предметом будет равнозначна тем, которые не участвуют в расписании.

2. *Распределение предметов* (в день не может быть более двух уроков по одному предмету; если по какому-то предмету в один день предусмотрено два урока, то эти уроки должны стоять рядом). Для каждого варианта расписания подсчитывается количество ситуаций, не удовлетворяющих данным условиям. Полученное значение добавляется в качестве штрафа в целевую функцию (1) с некоторым весовым коэффициентом.

3. *Распределение нагрузки* в течение учебной недели. В соответствии с требованиями СанПиН [4], каждый учебный предмет имеет свою оценку трудности (например, математика – 8 баллов, физическая культура – 1). При этом наибольшая учебная нагрузка (в баллах) должна приходиться на середину недели (среду и четверг), а последний учебный день (суб-

боту) нагрузка должна быть наименьшей. Физкультура должна быть первым или последним уроком (и еще несколько требований –[4]). Штрафы за нарушение указанных условий также могут быть добавлены в целевую функцию (1). Оптимальные значения дополнительных критериев являются нулевыми.

Результаты и их обсуждение

Проведенные вычислительные эксперименты показывают достаточно высокую эффективность предлагаемого генетического алгоритма построения расписания. Для тестирования было сгенерировано 100 задач, при этом за основу был взят реальный учебный план 4-11 классов МБОУ СОШ №1 г. Воронежа, а затем различным образом осуществлялось деление на смены (обучение в школе проводится в две смены, для каждой смены составлялось свое расписание), различным образом выставлялись пожелания преподавателей, а также варьировалось количество параллелей в классах (от 3 до 5).

После настройки параметров генетического алгоритма для 98 из 100 задач было найдено решение с нулевым значением целевой функции (1) (но не нулевыми значениями дополнительных критериев: пример приведен на рисунке 1).

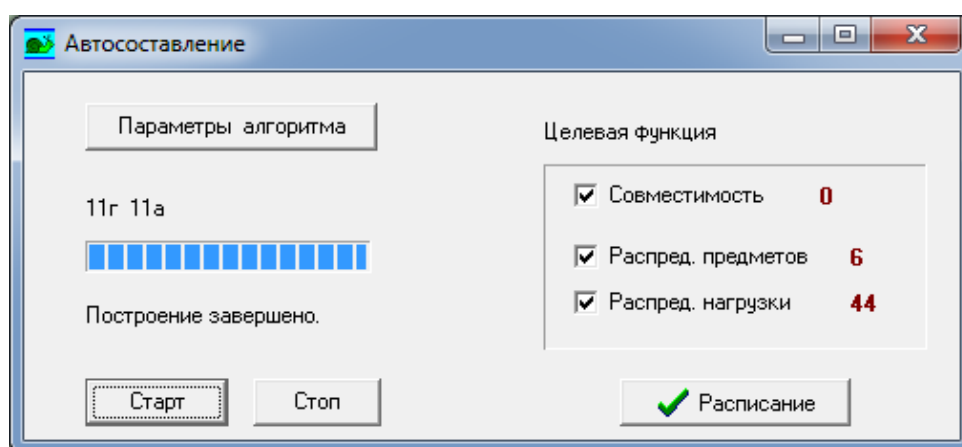


Рисунок 1 –Результаты автоматизированного составления расписания

На рисунке 2 представлены значения параметров генетического алгоритма, при которых было найдено данное решение. Справа указаны штрафные коэффициенты, на которые домножались основной и дополнительные критерии при их суммировании. Кроме того, в этом окне можно выбрать, каким образом будет осуществляться скрещивание и мутация – в пределах одного столбца (учебной группы) или в пределах двух столбцов (двух учебных групп из одной параллели).

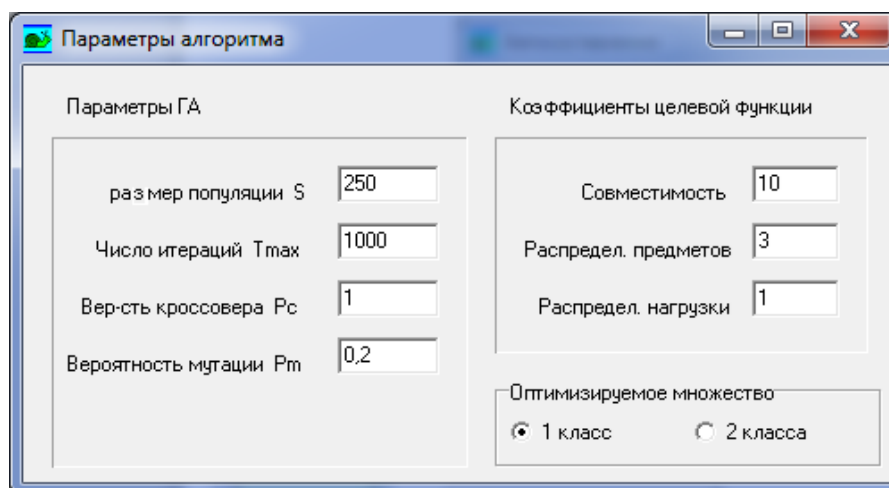


Рисунок 2 – Значения параметров генетического алгоритма

На рисунке 3 представлено расписание одного из классов, полученное в результате данного прогона алгоритма. Несовместимые предметы в нем отсутствуют, но видно, что некоторые предметы не спарены (два урока математики во вторник не стоят рядом). Также можно заметить, что максимум нагрузки, рассчитанной по методике СанПиН, приходится на вторник и среду, а не на среду и четверг.

	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб
Урок 1	Ин яз	Математика	История	Ин яз	Экология	Русский
2	Литература	Литература	Физкультура	Математика	История	Литература
3	Литература	Экология	Русский	Ин яз	Музыка	ИЗО
4	Русский	Русский	Математика	Технология	Математика	Ин яз
5		Математика	Русский	Технология	Математика	Физкультура
6						
Нагрузка	35	45	46	39	36	35

Рисунок 3 – Пример расписания

На рисунке 4 представлен пример результатов, полученных после увеличения штрафного коэффициента критерия “Распределение нагрузки” с одного до двух. Как видим, недельное распределение нагрузки стало больше соответствовать требованиям, но в расписании появилась несовместимая ситуация - два предмета одновременно используют общий ресурс (преподавателя или аудиторию). На рис 5. приведено расписание, пересчитанное для этого же класса после изменения штрафного коэффициента. Как видим, все уроки теперь спарены, а недельное распределение нагрузки идеально соответствует требованиям СанПиН. Однако, такой вариант неприемлем, так как не соответствует допустимому расписанию.

Поэтому для дальнейшего повышения точности предполагается включение генетического алгоритма в алгоритмическую схему метода ветвей и границ. Решения, найденные генетическим алгоритмом, будут использоваться в качестве начального рекорда в методе ветвей и границ. Как известно, хороший начальный рекорд может существенно ускорить время работы этого метода и позволить получить решение за реальное время. Использование одного только метода ветвей и границ на текущем этапе невозможно – современные вычислительные мощности пока еще не позволяют решать задачи целочисленного линейного программирования с 1000 и более переменными.

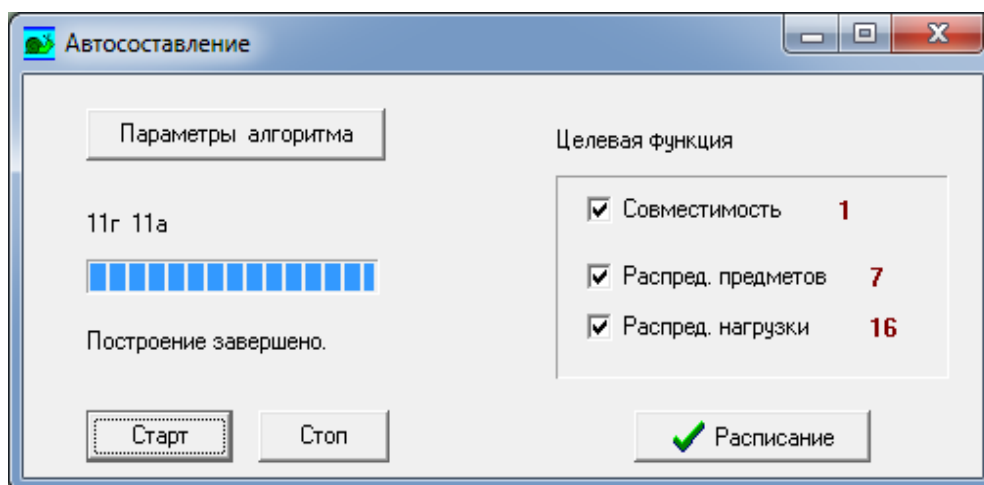


Рисунок 4 – Результаты автоматизированного составления расписания после изменения штрафного коэффициента

	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб
Урок 1	Ин яз	Физкультура	Русский	Ин яз	Литература	Физкультура
2	Математика	История	Русский	Ин яз	Математика	Музыка
3	Литература	Математика	Литература	Экология	Русский	Технология
4	Экология	Русский	Математика	Математика	История	Технология
5		Русский	Ин яз	Математика	ИЗО	Литература
6						
Нагрузка	33	46	50	47	39	21

Рисунок 5 – Пример расписания после изменения штрафного коэффициента

Библиографический список

1. Азарнова Т.В. Оптимизационная модель составления расписания процесса корпоративного обучения персонала/ Т.В. Азарнова, Е.Р. Сотникова, А.Л. Ухин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. 2016. № 1. С. 144-150.
2. Береговых Ю.В., Васильев Б.А., Володин Н.А. Алгоритм составления расписания занятий // Искусственный интеллект. -2009. - № 2
3. Каширина И.Л. Моделирование и алгоритмизация задачи составления расписания учебных занятий/ И.Л. Каширина, А.Л. Ухин// Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2015. № 2. С. 66-71.
4. Рубальская, О. Н. Автоматизированные системы составления учебных расписаний / О. Н. Рубальская. – М. : Наука, 2001.
5. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие/ Г.А. Черноморов. - Новочеркасск: Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика», 2002. 276 с.
6. Muller T. Some Novel Approaches to Lecture Timetabling/T. Muller//In Proceedings of the 4th Workshop of Constraint Programming for Decision and Control, Gliwice, 2002.
7. Каширина И.Л. Эволюционное моделирование: учебное пособие для ВУЗов / И.Л. Каширина. Воронеж, 2011. 60 с.
8. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных заведениях. Приложение №3. (СанПиН 2.4.2.2821-10)

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЕРСОНАЛА ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Шишкина С.В.¹, Приступа Ю.Д.¹, Павлова Л.Д.², Фрянов В.Н.²

¹ООО «Объединенное ПТУ Кузбасса», г. Ленинск-Кузнецкий, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Актуальность разработки механизма управления развитием профессиональных компетенций персонала погрузочно-транспортного предприятия (ПТП) следует из необходимости обеспечения соответствия компетенций работников трудовым функциям, регламентированным действующими профессиональными стандартами [1, 2 и др.].

По результатам анализа целевой функции, структуры и видов деятельности ПТП осуществлена идентификация предприятия как организационно-технической системы (ОТС). Основными функциями ОТС является оказание погрузочно-разгрузочных и транс-

портно-экспедиционных услуг, выполняемых для шахт, разрезов, обогатительных фабрик, а также текущий ремонт железнодорожных путей и наладку собственных тепловозов.

В ОТС предлагается выделить три взаимодействующие подсистемы: основное производство, производственную и социальную инфраструктуры (рисунок 1). Основное производство предприятия включает производственные процессы предприятия, в ходе которых материалы или сырьё превращаются в продукцию. В условиях ПТП такими процессами являются складирование, переработка, погрузка и транспорт угля в вагонах для реализации потребителям.

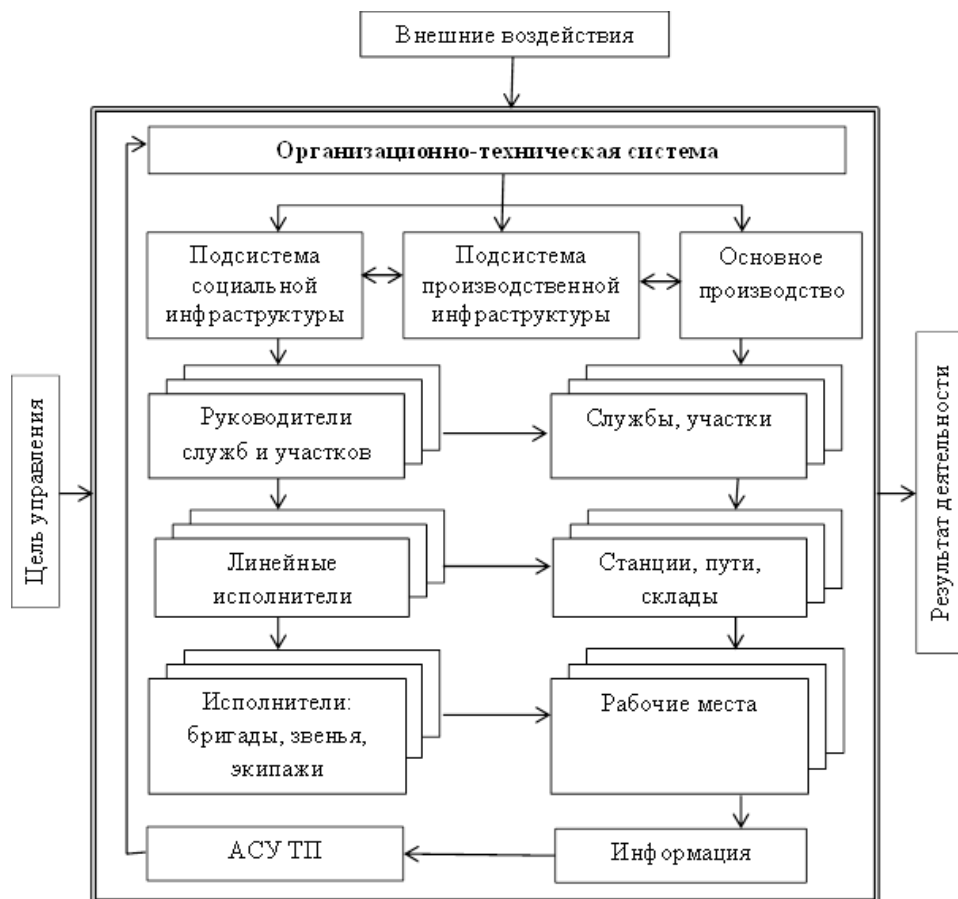


Рисунок 1 - Функциональная схема организационно-технической системы ПТП

Производственная инфраструктура содержит комплекс цехов, хозяйств и служб, обеспечивающих необходимые условия для основной деятельности предприятия. Производственная инфраструктура ПТП включает службу подвижного состава, службу пути, отдел материально-технического снабжения, участок связи, службу производственного контроля и охраны труда, производственно-технический отдел, отдел АСУ ТП.

Социальная инфраструктура объединяет подразделения предприятия, обеспечивающие санитарно-гигиенические условия труда и социально-бытовые потребности работников, уровень их профессиональной подготовки, материальное обеспечение, социальные гарантии, кадровую политику.

Подробная информация об условиях и особенностях функционирования ПТП на примере ООО «Объединённое ПТУ Кузбасса» изложены в работах авторов [3-6].

Эффективность и безопасность функционирования всех подсистем обеспечивается уровнем профессиональных компетенций персонала. Это подтверждено результатам анализа динамики и причин браков и опасных производственных ситуаций ООО «Объединённое ПТУ Кузбасса» за период 2000-2014гг. (168 случаев), из них:

- наезды на посторонних людей, находящихся на железнодорожных путях (24 %);
- взрывы стрелочных переводов (21 %);

- сход подвижного состава (21 %);
- столкновения подвижного состава (14 %);
- прочие (20 %).

Установлено, что одной из основных причин этих событий являются нарушения работниками технологических режимов, трудовой и производственной дисциплины, то есть подтверждается недостаточный уровень профессиональных компетенций [7].

Кадровая политика ПТП заключается в подборе персонала, оценке его профессиональных компетенций, расстановке и обучении кадров, профилактической работе, непрерывном контроле действий персонала по улучшению, совершенствованию и развитию систем охраны труда и производства.

Для постановки и описания задачи управления развитием профессиональных компетенций персонала при минимизации рисков возникновения аварий и инцидентов рассмотрены условия взаимодействия работников с элементами производственной инфраструктуры в соответствии с целевыми функциями ООО «Объединённое ПТУ Кузбасса».

Согласно профессиональным стандартам и технологическим картам систематизированы трудовые функции и действия для основных видов деятельности предприятия.

При выполнении работ, процессов и операций, вследствие взаимодействия работников и элементов производственной инфраструктуры, происходит накопление несоответствий действий персонала требованиям эксплуатации элементов инфраструктуры из-за влияния следующих факторов и событий:

- износ оборудования;
- отклонение уровня инженерно-технических решений от требований промышленной безопасности и технических инструкций по эксплуатации машин и оборудования;
- неудовлетворительный оперативный контроль соответствия фактических технологических параметров нормативным;
- несоответствия действий работников нормативным технологическим режимам (нарушение технологической дисциплины);
- несовершенство системы профилактических мероприятий для упреждения развития производственных нарушений и опасностей;
- несоответствие компетенций (квалификации) работника при использовании ресурсов производства.

Накопления несоответствий действий персонала требованиям эксплуатации элементов инфраструктуры в течение заданного времени (смена, сутки, месяц, год) способствует повышению риска возникновения инцидентов, предаварийных ситуаций, профессиональных заболеваний, травмирования работников, что сопровождается негативными экономическими и социальными последствиями для предприятия в целом. Решение этой задачи возможно с использованием модели соответствия коммуникативных компетенций и трудовых функций грузоочно-транспортных предприятий.

Постановка задачи.

Дано. Три взаимодействующие подсистемы ОТС и комплекс упреждающих профилактических мероприятий (рисунок 2). Персонал и элементы инфраструктуры в процессе выполнения трудовых функций взаимодействуют при выполнении управляющих воздействий с учётом состояния и изменения внешней среды. Одновременно в составе плана ликвидации аварий и технологических карт выполнения отдельных процессов и операций осуществляется реализация ранее разработанных и утверждённых в установленном порядке упреждающих мероприятий.

Требуется. Установить зависимость риска возникновения дебаланса коммуникативных компетенций и трудовых функций при взаимодействии в течение заданного временного периода $\Delta T = T_n - T_i$ персонала S , элементов инфраструктуры W и упреждающих мероприятий F , то есть

$$S + W - F \leq R_n, \quad (1)$$

где T_i – время начала процесса или операции;

T_n – время окончания процесса или операции;

R_n – приемлемый риск, устанавливается в соответствии с целевой функцией управления ОТС и «Методическими рекомендациями...» [8].



Рисунок 2 - Схема управления процессами взаимодействия подсистем в структуре ОТС погрузочно-транспортного предприятия

Начальные условия и ограничения. Состояние объекта управления в начальный период T_i принято устойчивым. Это фиксируется по результатам производственного контроля в период $T < T_i$ и текущего мониторинга (рисунок 2). В период $\Delta T = T_n - T_i$ профессиональный уровень и компетенции персонала могут изменяться посредством повышения квалификации, инструктажа, изменения условий работы персонала. Состояние объектов инфраструктуры также не остаётся постоянным вследствие износа оборудования, технического перевооружения элементов инфраструктуры. Управляющие воздействия в виде упреждающих мероприятий могут разрабатываться и реализовываться поэтапно или дискретно по рекомендациям контролирующих управляющих агентов-центров.

Решение задачи. Идея решения задачи состоит в непрерывном совершенствовании системы управления социальной безопасностью посредством оперативной разработки и реализации упреждающих мероприятий при каждом отклонении действий персонала и фактических режимов работы элементов инфраструктуры от нормативных или целевых индикаторов.

Решение задачи в общем виде следующее:

$$\sum_j \{ \sum_{T_i}^{T_n} (p_1(s_1 - f_{s_1}) + p_2(s_2 - f_{s_2}) + p_3(s_3 - f_{s_3}) + \dots + p_m(s_m - f_{s_m})) + \sum_{T_i}^{T_n} (q_1(w_1 - f_{w_1}) + q_2(w_2 - f_{w_2}) + q_3(w_3 - f_{w_3}) + \dots + q_v(w_v - f_{w_v})) \} \leq R_n,$$

где p_m – риск возникновения аварии при отклонении действий персонала от требований трудовых функций при выполнении m -той операции j -той службы;

s_m – отклонение компетенций персонала от требований трудовых функций при выполнении m -той операции j -той службы;

f_{s_m} – мероприятия по предотвращению отклонения действий персонала от требований

- трудо­вых функций при выполнении m -той операции j -той службы;
- q_v – вес влияния v -того отклонения фактических режимов работы элементов инфраструктуры от нормативных на риск возникновения аварии или инцидента j -той службы;
- w_v – v -тое отклонение фактических режимов работы элементов инфраструктуры от нормативных j -той службы;
- f_{w_v} – мероприятия по предотвращению v -того отклонения фактических режимов работы элементов инфраструктуры от нормативных j -той службы.

Качественный график изменения суммы накопленных отклонений несоответствий действий персонала требованиям трудовых функций в составе j -той службы представлен на рисунке 3.

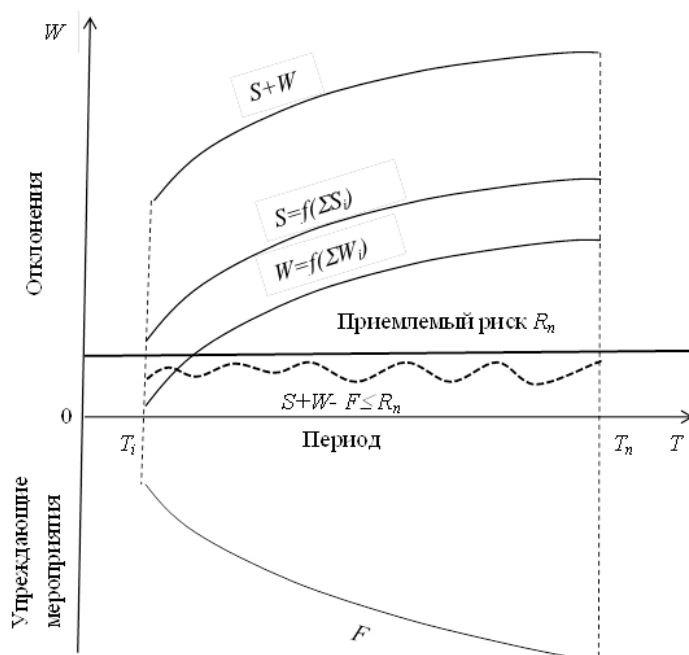


Рисунок 3 - График накопления отклонений действий персонала от регламентированных профессиональными стандартами трудовых функций

На верхних графиках рисунка 3 приведены изменения суммарных отклонения несоответствий действий персонала S требованиям трудовых функций и отклонений несоответствий фактических результатов выполнения трудовых функций W от регламентированных профессиональными стандартами и технологическими картами. При одновременном выполнении множества трудовых функций с отклонениями от процессов и операций, указанных в технологических картах в пределах периода $\Delta T = T_n - T_i$ происходит накопление рисков возникновения дебаланса соответствия моделей коммуникативных компетенций и трудовых функций, что приводит к нарушению проектного режима работы ПТП.

Суммарные воздействия на персонал и элементы инфраструктуры посредством разработки и реализации упреждающих мероприятий F представлены на нижнем графике рисунка 3. После наложения указанных графиков риска возникновения аварии или инцидента на рисунке 3 получена волнистая пунктирная линия F , положение которой не должно быть выше линии приемлемого риска R_n .

Верхнюю границу зоны приемлемого риска предлагается рассматривать как границу зоны баланса коммуникативных компетенций и регламентированных профессиональными стандартами трудовых функций.

Результаты внедрения разработанного механизма управления развитием профессиональных компетенций персонала погрузочно-транспортного предприятия представлены на рисунке 4.

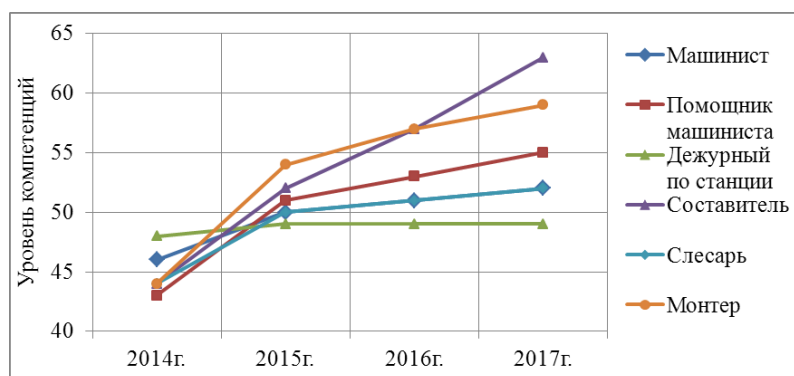


Рисунок 4 - Динамика профессиональных компетенций персонала ООО «Объединенное ПТУ Кузбасса»

Графики рисунка 4 получены по результатам тестирования по 100-балльной оценке сотрудников. Для опроса использована международная система независимой оценки личности для отбора и развития персонала Ноqan SafetyAssessment. Как следует из графиков, в течение последних трёх лет почти по всем профессиям уровень компетенций повысился в 1,3 – 1,5 раз, что подтверждает эффективность разработанного механизма управления развитием профессиональных компетенций персонала.

Выводы:

1) Обоснована актуальность разработки механизма управления развитием профессиональных компетенций персонала погрузочно-транспортного предприятия с целью обеспечения соответствия компетенций трудовым функциям, регламентированным действующими профессиональными стандартами.

2) Обосновано выделение в структуре ПТП организационно-технической системы, включающей три взаимодействующие подсистемы: основное производство, производственную и социальную инфраструктуры.

3) Разработана функциональная схема организационно-технической системы ПТП, включающая механизм взаимодействия персонала и объектов основного производства.

4) Поставлена и решена задача разработки алгоритма оценки соответствия коммуникативных компетенций и трудовых функций погрузочно-транспортных предприятий, обеспечивающей достижение цели управления при минимальном риске возникновения аварии или инцидента.

5) Эффективность разработанного и реализованного механизма управления развитием профессиональных компетенций персонала подтверждена положительной динамикой результатов тестирования.

Библиографический список

1. Профстандарт: 27.092. / Профессиональные стандарты / Metallургическое производство / Специалист по эксплуатации железнодорожного транспорта в горнорудной и металлургической промышленности. Утверждён приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 01.02.2017 г., № 121н.

2. Профстандарт: 593 / Профессиональные стандарты / Слесарь по осмотру и ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта. Утверждён приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 02.12.2015 г., № 954н.

3. Приступа Ю.Д. Моделирование процесса управления транспортными потоками угольного холдинга в условиях неопределённости [Текст] : монография / 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.

4. Приступа Ю.Д. Разработка организационной структуры управления погрузочно-транспортным предприятием угледобывающего региона // Ю.Д. Приступа, С.В. Шиш-

кина, 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.

5. Шишкина С.В. Обоснование структуры системы управления социальной безопасностью погрузочно-транспортных предприятий угольного холдинга / С.В. Шишкина, Ю.Д. Приступа, В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : труды X Всеросс. научно-практ. конф. (с междунар. участием), Новокузнецк, 17-19 декабря, 2015г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 166 – 173.

6. Шишкина С.В. Развитие моделей и механизмов управления социальной безопасностью на погрузочно-транспортных предприятиях / С.В. Шишкина, Ю.Д. Приступа, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах : труды IV Всеросс. научно-практ. конф. (с междунар. участием), Новокузнецк, 12-15 апреля 2016г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – С. 8 – 14.

7. Приступа Ю.Д. Снижение риска травмирования в Погрузочно-транспортном управлении ОАО «СУЭК-Кузбасс» на основе прогнозирования браков в работе/ Ю.Д. Приступа, С.В. Шишкина, А.В. Смолин, М.Ю. Быткарь//Уголь. -2014.-№12. С.50-52.

8. РД 03-357-00 Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 26.04.2000 N 23.

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ОБУЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ERP-СИСТЕМЫ

Митьков В.В., Зимин В.В.

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

Введение

Одним из важных факторов (если не главным), определяющим длительность начальной (опытно-промышленной) эксплуатации ERP-системы, является качество подготовки пользователей к совместной работе в интегрированной (на уровне элементарных транзакций) системе управления. На рисунке 1 приведены два графика зависимости количества инцидентов, возникающих по вине пользователей на начальном периоде эксплуатации, от качества обучения пользователей (А – хорошее обучение, В - неудовлетворительное) [1].

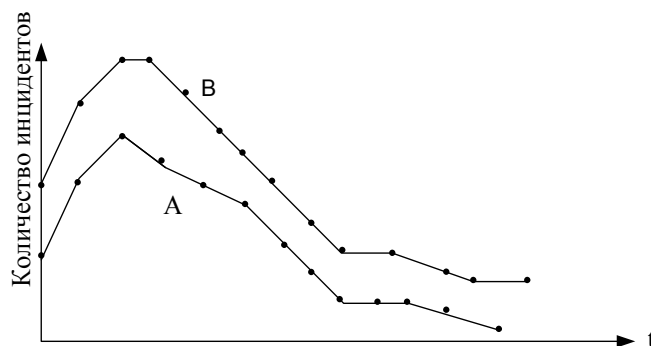


Рисунок 1 – Зависимость количества инцидентов на начальном периоде эксплуатации от качества обучения пользователей

Очевидно, что длительность начальной эксплуатации и соответствующие потери от инцидентов могут быть существенно уменьшены не только за счет качественного проекти-

рования и тестирования ERP-системы [2-6], но в значительной мере за счет повышения уровня компетенций пользователей.

Пусть $\{\{p_{ji} \mid i = \overline{1, n_j}\} \mid j = \overline{1, m}\}$ - множество программ обучения, реализуемых консалтинговой компанией, участвующей в создании ERP-системы. Здесь j – номер бизнес-процесса, i – номер программы обучения, p_{ji} - i -ая программа обучения для j -го бизнес-процесса, n_j - количество программ обучения для j -го процесса, m – количество бизнес-процессов. Обозначим через $c_{ji} = c(p_{ji})$ стоимость обучения одного пользователя по программе p_{ji} , через $q_{ji} = q(p_{ji})$ - «приращение» компетенции пользователя (которое будем оценивать в баллах) в результате обучения по программе p_{ji} , через $k_{ji} = k(p_{ji})$ - количество пользователей, которых желательно обучить по программе p_{ji} . Положим также, что руководство каждого бизнес-процесса накладывает ограничение на минимальное количество $k_j^* \leq \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji}$ прошедших обучение пользователей, при котором оно может приступить к

начальной эксплуатации. Обозначим через c^* предельный объем средств, который руководство предприятия может направить на обучение пользователей.

Формализация задачи. Введем переменную

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{ji} \text{ включена в программу обучения пользователей} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Рассмотрим следующую математическую модель рассматриваемой задачи:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} q_{ji} x_{ji} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} c_{ji} x_{ji} \leq c^* \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} x_{ji} \geq k_j^*, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Решением задачи (1) – (3) является такая программа $\{\{x_{ji} \mid i = \overline{1, n_j}\} \mid j = \overline{1, m}\}$ обучения пользователей, которая максимизирует суммарное «приращение» компетенций пользователей (соотношение (1)) при заданном ограничении c^* на предельный объем средств, выделенных на обучение (соотношение (2)), и которая удовлетворяет заданным руководством бизнес-процессов ограничениям на минимально необходимое количество пользователей, подлежащих обучению (m соотношений (3)).

Схема решения задачи. Для решения задачи (1) – (3) применим метод сетевого программирования, который предполагает последовательное решение цепочки оценочных задач, формируемой на основе структурно подобного сетевого представления целевой функции и ограничений [7-8]. Один из вариантов сетевого представления критерия и ограничений сводит решение задачи (1) – (3) к последовательностям задач, выполняемых на двух этапах.

4. Решение методом дихотомического программирования m задач формирования программ $x_j = \{x_{ji} \mid i = \overline{1, n_j}\}, j = \overline{1, m}$, обучения пользователей для каждого бизнес-процесса:

$$q_j = \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} q_{ji} x_{ji} \rightarrow \max \quad (4)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} c_{ji} x_{ji} \leq c^* \quad (5)$$

$$k_j = \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} x_{ji} \geq k_j^* \quad (6)$$

Структурно-подобное сетевое представление функций q_j, c_j, k_j , используемое для определения последовательности оценочных подзадач для задач (4) – (6), дано на рисунке 2.

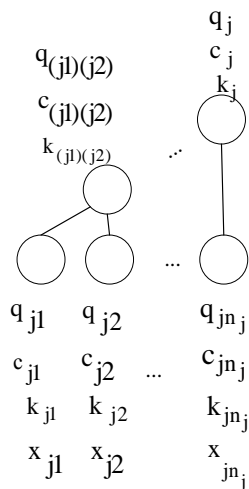


Рисунок 2 – Сетевое представление функций q_j, c_j, k_j

5. Решение методом дихотомического программирования задачи:

$$q = \sum_{j=1}^m q_j x_j \rightarrow \max \quad (7)$$

$$c = \sum_{j=1}^m c_j x_j \leq c^* \quad (8)$$

Структурно-подобное сетевое представление функций q и c дано на рисунке 3.

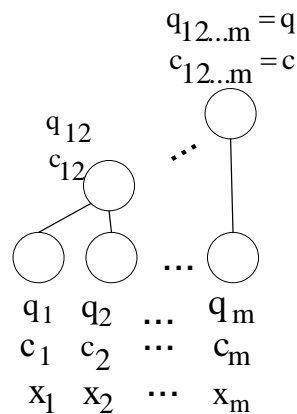


Рисунок 3 - Сетевое представление функций q и c

Это представление сводит решение задачи (8) – (9) к последовательному решению (m-1) задачи на основе m решений, полученных на этапе 1.

При необходимости решение, полученное в соответствии с изложенной схемой, которое в общем случае является приближенным, может быть улучшено посредством применения метода ветвей и границ [9-10].

На практике бывает целесообразно решить задачу, обратную к рассмотренной:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} c_{ji} x_{ji} \rightarrow \min \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} q_{ji} x_{ji} \geq q^* \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} x_{ji} \geq k_j^*, \quad j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

В силу структурного подобия функций с и q она может быть решена по той же схеме, что и прямая задача.

Библиографический список

1. Зимин В. В. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ИТIL) : учебное пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
2. Бурков, В.Н. Как управлять проектами: Научно-практическое издание. / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков.- М.: СИНТЕГ – ГЕО. - 1997. - 188 с.
3. Phillips J.J. Bothell T.W. Snead G.L. The project management scorecards. - Amsterdam: Elseiver. 2003.
4. Валерий Зимин, Ирина Буркова, Алексей Зимин Модели и механизмы управления жизненным циклом ИТ-сервисов //LAP LAMBERT Academic Publising RU, ISBN: 978-3-330-08393-6. -2017. -337с
5. Wysocky R.K.. Beck R.. Crane D.B. Effective project management. - N.Y. John Wiley & Sons. 2000.
6. Механизмы управления: учебное пособие / под редакцией Д.А. Новикова . -М.: ЛЕНАНД, 2011. – 192 с.
7. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами: автореферат дисс. на соиск. степени доктора технических наук: 05.13.10 / И.В. Буркова.- Москва, изд. ИПУ, 2012. –с.40
8. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации / И.В. Буркова // Автоматика и телемеханика.- 2009.- № 10.- С. 15-21.
9. Вагнер, Г. Основы исследования операций / Г.Вагнер.-М.:Мир,1972.-198с.
10. Корбут А.А., Сига И.Х., Финкельштейн Ю.Ю. Метод ветвей и границ. Обзор теории, алгоритмов, программ и приложений. // Math. Operation Forsch. Staist. Ser. Optimization. – 1977. – V. 8, № 2. - P. 253-280.

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТА УНИВЕРСИТЕТА

Ярещенко Д.И.

*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

Доклад посвящен проблематике идентификации дискретно-непрерывных процессов в условиях неполной информации. Дискретно-непрерывным процессом называют процесс, протекающий непрерывно во времени, но контроль его переменных осуществляется в дискретные моменты времени. Такие процессы характерны для металлургии, нефтепереработки, энергетики, а также для экономики, социальной сферы, включая образовательный процесс.

Сначала рассмотрим общую схему идентификации объекта. На рисунке 1 приняты следующие обозначения: $u(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t)) \in \Omega(u) \subset R^m$ – входные управляемые переменные процесса; $\mu(t) = (\mu_1(t), \dots, \mu_n(t)) \in \Omega(\mu) \subset R^n$ – входные неуправляемые (но контролируемые) переменные процесса; $x(t) = (x_1(t), \dots, x_k(t)) \in \Omega(x) \subset R^k$ – выходная переменная; О – объект; БИ – блоки измерения переменных; М – модель процесса; $\xi(t)$ – случайное возмущение, действующее на объект; $\hat{x}(t)$ – выход модели; t – непрерывное время; h^u , h^μ и h^x – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса.

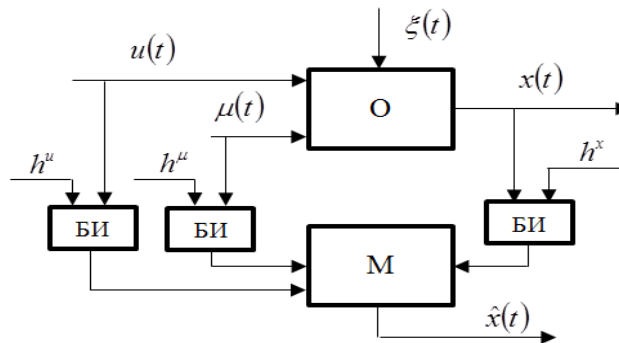


Рисунок 4 – Классическая схема идентификации объекта

При рассмотрении образовательного процесса, классическая схема идентификации объекта несколько изменится.

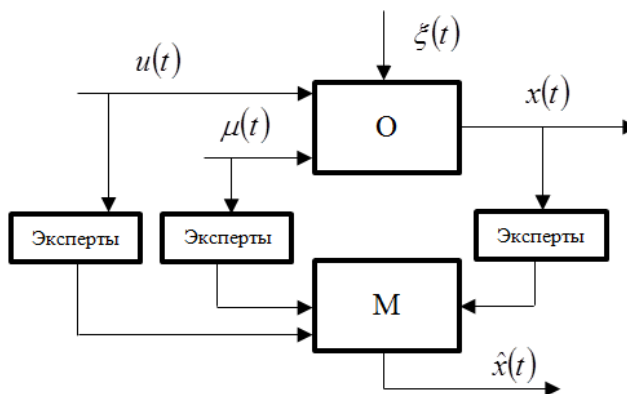


Рисунок 5 – Схема моделирования процесса приобретения знаний обучающимися

На рисунке 2 существенным отличием является замена блоков измерения на экспертов. В качестве примера для образовательного процесса студента можно привести управляемые переменные $u(t)$ – учебные материалы, доступность связи с преподавателем, а в качестве неуправляемых переменных $\mu(t)$ – баллы аттестата, желание учиться, бытовые условия и т.д. В дальнейшем эта модель будет расширяться, будут добавляться новые переменные. Вектор выходных переменных $x(t)$ – знания, приобретенные в процессе обучения.

Рассматривается идентификация в узком и широком смысле [1]. В достаточно общем виде параметрическая модель может быть представлена в следующем виде:

$$\hat{x}(t) = f(u(t), \mu(t), \alpha), \quad (1)$$

где α – вектор параметров. Последующая оценка параметров α может быть найдена с помощью метода наименьших квадратов (далее МНК) [2] или метода стохастических аппроксимаций [3]. В частности, если в качестве критерия принять:

$$R(\alpha) = M(x(t) - \hat{x}(u(t), \mu(t), \alpha))^2, \quad (2)$$

где $\hat{x}(t)$ примем в следующем виде:

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi_i(u(t), \mu(t)), \quad (3)$$

а $\varphi_i(\cdot)$, $i = \overline{1, N}$ – система линейно-независимых функций, то

$$\alpha_s^p = \alpha_{s-1}^p + \gamma_s^p \left(x_s - \sum_{i=1}^N \alpha_{s-1}^i \varphi_i(u_s, \mu_s) \right) \varphi^p(u_s, \mu_s), \quad p = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где γ_s^p – удовлетворяют условиям Роббинса-Монро [4]. Таким образом, в завершеном виде модель процесса будет иметь вид:

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_s^i \varphi_i(u(t), \mu(t)), \quad (5)$$

где α_s^i , $i = \overline{1, N}$ – полученные оценки параметров модели по имеющейся обучающей выборке $\{x_i, u_i, i = \overline{1, N}\}$.

Основная трудность в задаче идентификации, в рамках параметрического подхода, состоит в выборе параметрической структуры (1), если параметрическая структура модели процесса определена удачно, то модель в итоге может оказаться вполне удовлетворительной, в случае, если допущена ошибка на этапе выбора модели объекта, то рассчитывать на успех весьма проблематично. В случае недостатка априорных сведений, более эффективным может оказаться непараметрический подход.

Непараметрический подход не предполагает этапа связанного с выбором уравнения объекта с точностью до коэффициентов. Достаточно сведений качественного характера, например, однозначности безынерционного процесса с запаздыванием, либо линейности в случае динамического процесса, нелинейности, неоднозначности и другое. Обозначим обучающую выборку, полученную на реально функционирующем объекте в виде $(u_i, x_i, i = \overline{1, s})$. Задача непараметрического оценивания функции регрессии по наблюдениям выглядит следующим образом. Пусть дана двумерная случайная величина (u, x) с неизвестными плотностями распределения $p(u, x)$, $p(u) > 0$ для любых $u \in R^1$, и выборка статистически независимых наблюдений $(u_i, x_i, i = \overline{1, s})$.

В случае если $u(t)$ и $x(u)$ являются скалярными величинами, то непараметрическая оценка функции регрессии имеет следующий вид:

$$x_s(u) = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \Phi\left(\frac{u-u_i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u-u_i}{c_s}\right)}, \quad (6)$$

где колоколообразные функции $\Phi\left(\frac{u-u_i}{c_s}\right)$ и параметр размытости c_s удовлетворяют некоторым условиям сходимости [5]: $\Phi(\cdot) < \infty$, $c_s^{-1} \int_{\Omega(u)} \Phi(c_s^{-1}(u-u_i)) du = 1$,

$\lim_{s \rightarrow \infty} c_s^{-1} \Phi(c_s^{-1}(u-u_i)) = \delta(u-u_i)$. В случае если $u(t)$ вектор размерности n , то формула (6) примет вид:

$$x_s^\lambda(u) = \frac{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n x_i^\lambda \Phi\left(\frac{u_j-u_i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{u_j-u_i}{c_s}\right)}, \quad \lambda = \overline{1, k}. \quad (7)$$

Для моделирования дискретно-непрерывного процесса уравнение (7) несколько изменится:

$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k x_i \Phi\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{u_t^j - u_i^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{\mu_t^j - \mu_i^j}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{u_t^j - u_i^j}{c_s}\right) \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{\mu_t^j - \mu_i^j}{c_s}\right)}, \quad (8)$$

где k – глубина памяти. Уравнение (8) соответствует рисунку (1), представленному выше.

Если бы k отсутствовало, это в чистом виде была бы статика или безынерционный объект, если $k=1$, то это память на один предыдущий такт, а их может быть и несколько, это зависит уже от сложности динамического процесса.

Наиболее интересным и наиболее важным является следующее, что на пути исследования различных процессов выделен такой класс процессов, которые отнесены к Н-процессам (при этом компоненты вектора входных переменных стохастически зависимы). Предположим, что исследуемый процесс протекает в единичном кубе $\Omega(u, x) = \Omega(u_1, u_2, x) \subset R^3$. Если не учитывать влияние случайных возмущений $\xi(t)$ и погрешностей измерений u_1, u_2, x , то процесс протекает в области $\Omega^H(u, x) \subset \Omega(u, x)$ (рис. 3).

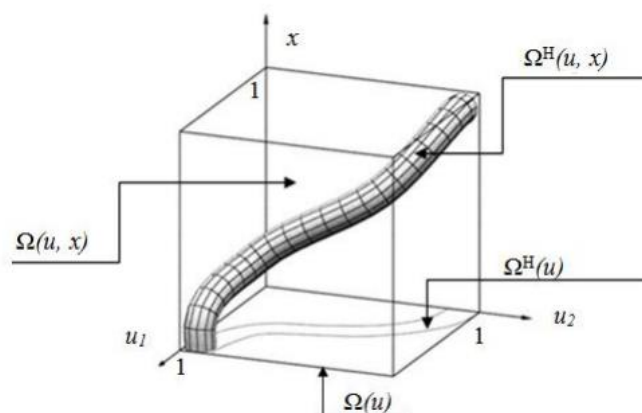


Рисунок 6 – Схема Н-процесса

В случае стохастической зависимости входных переменных процесс протекает не во всей области $\Omega(u_1, u_2, x)$, а лишь в ее подобласти $\Omega^H(u_1, u_2, x) \subset \Omega(u_1, u_2, x)$, которая нам всегда не

известна. А поскольку мы ничего не знаем о подобласти $\Omega^H(u, x)$, то мы не можем точно сказать и о том, что исследуемый объект обладает данной особенностью. В этом и заключается основная сложность моделирования подобного рода процессов, называемых нами Н-процессами.

Если исследуемый процесс имеет трубчатую структуру, то модели (1) и (3) необходимо подкорректировать следующим образом:

$$\hat{x}_s(u) = I_s(u) \hat{f}(u, \alpha_s), \quad (9)$$

где индикатор $I_s(u)$ имеет вид

$$I_s(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \in \Omega_s^H(u), \\ 0, & \text{если } u \notin \Omega_s^H(u). \end{cases} \quad (10)$$

Необходимо заметить, что область $\Omega^H(u)$ не известна, а известна лишь выборка $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$. Если индикатор равен нулю, то оценка $\hat{x}(u)$, $\hat{x}_s(u)$ не может быть вычислена, т.е. при таких значениях компонент вектора $u \in \Omega(u)$ процесс протекать не может. Если же индикатор $I_s(u)$ при любом значении $u \in \Omega(u)$ равен единице, то модель (9) совпадает с моделью (1).

В качестве оценки индикатора $I(u)$ можно принять следующее приближение:

$$I_s(u) = \text{Sgn} \sum_{i=1}^s \Phi(u^1 - u_i^1)(u^2 - u_i^2). \quad (11)$$

При исследовании процесса накопления знаний студентами были использованы как параметрические модели (1), так и Н-модели (9). Обучающая выборка формировалась следующим образом: был составлен перечень вопросов по курсу «Управление в организационных системах» и некоторые вопросы были розданы студентам, на которые были получены соответствующие ответы. На основании этой информации преподаватели курса оценивали уровень знаний студентов. В итоге формировалась обучающая выборка, которая соответствовала тому или иному студенту. Далее строилась характеристика, которая представляла собой процесс приобретения знаний каждым студентом в течение семестра. Эти зависимости строились в рамках как параметрической, так и непараметрической теории идентификации. Таким образом, для каждого студента получалась соответствующая характеристика этого процесса (своеобразная «визитная карточка») [6].

В качестве примера рассмотрим образовательный процесс успешного и среднего уровня знаний студента.

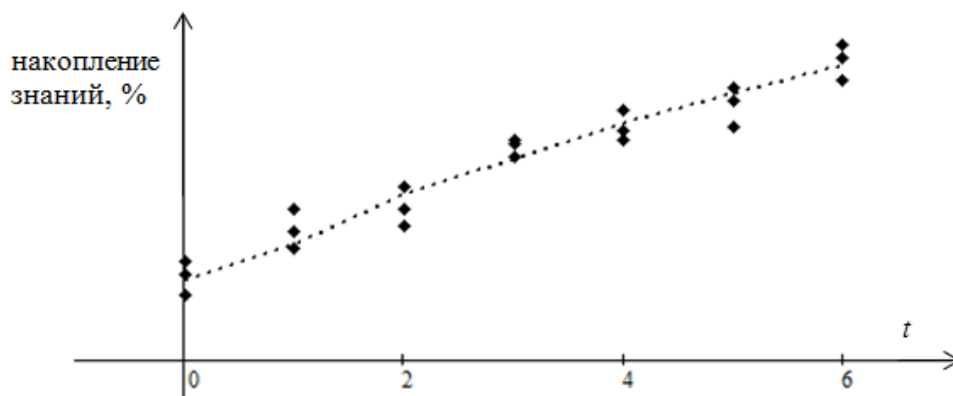


Рисунок 7 – Процесс приобретения знаний успешного студента (МНК- модель)

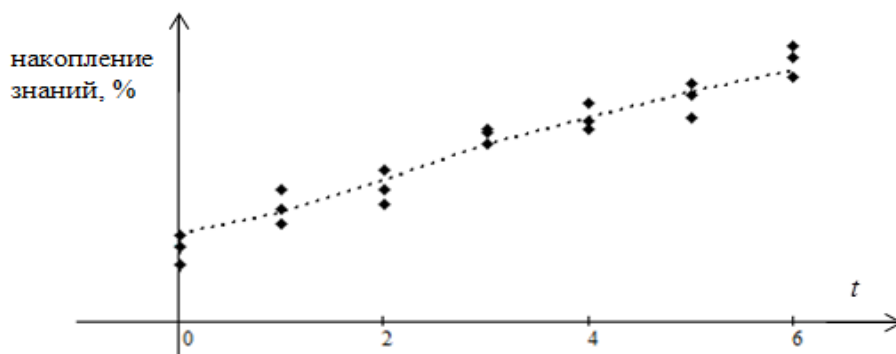


Рисунок 8 – Процесс приобретения знаний успешного студента (непараметрическая регрессия)

Приведенные рисунки 4 и 5 соответствуют процессу приобретения знаний успешным студентом. На графике показан уровень знаний студента, приобретаемый по мере изучения дисциплины. Из рисунков видно, что было проведено 7 опросов, из которых первый опрос проходил по школьной программе. Ответы студента оценивались тремя преподавателями. Успешный студент регулярно учится и только увеличивает свой объем знаний, поэтому кривая процесса возрастает. Также из рисунков видно, что непараметрическая оценка регрессии предпочтительнее описывает процесс приобретения знаний студентом.

Приведенные ниже рисунки 6 и 7 соответствуют процессу приобретения знаний средним студентом. Из рисунков видно, что средний студент не регулярно повышает свой уровень знаний в отличие от успешного студента, поэтому кривая процесса уже не имеет возрастающий характер.

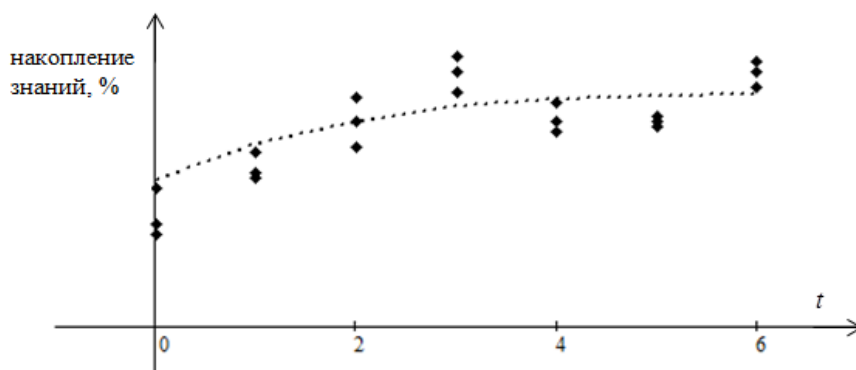


Рисунок 9 – Процесс приобретения знаний среднего студента (МНК – модель)

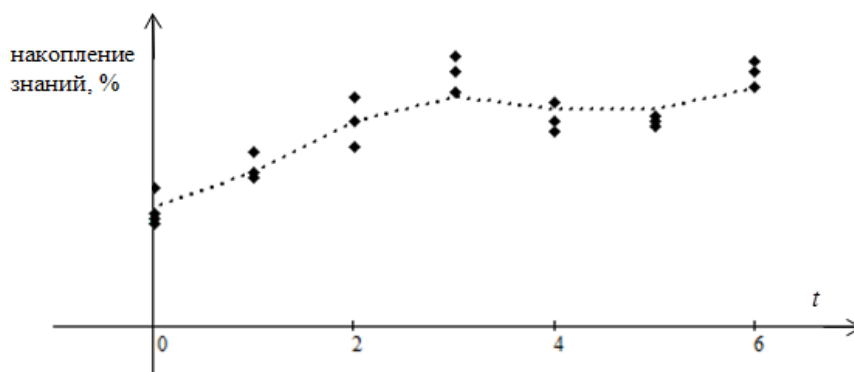


Рисунок 10 – Процесс приобретения знаний среднего студента (непараметрическая регрессия)

Таким образом, построенные кривые показывают изменения процесса приобретения знаний студентами. Как видно из вышеприведенных рисунков непараметрическая оценка

функции регрессии дает наиболее правдоподобные результаты, чем аппроксимация процесса приобретения знаний дифференциальным уравнением с использованием МНК.

В результате проведенного исследования каждый студент по окончании семестра будет иметь свою кривую процесса приобретения знаний, и соответственно свое собственное уравнение образовательного процесса (своеобразный аналог «визитной карточки» в данный момент). Ну а использование ее в дальнейшем может привести к индивидуальному подходу, о котором многие говорят, работая в образовательной деятельности с тем или иным студентом [7].

Библиографический список

1. П. Эйкхофф, Основы идентификации систем управления // перевод с англ. В.А. Лотоцкого, А.С. Манделя. – М.: Изд-во «Мир», 1975. 7 с.
2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1958. – 336 с.
3. Надарая Э.А. Непараметрическое оценивание плотности вероятностей и кривой регрессии. Тбилиси: Изд-во Тбилисского ун-та, 1983. 194 с.
4. Цыпкин Я.З., Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы 1984. – 320 с.
5. Медведев А.В. Теория непараметрических систем. Активные процессы – I // Вестник СибГАУ. – 2011. – Вып. 4 (37). – С. 52 – 58.
6. Медведев А.В., Ярещенко Д.И. О моделировании процесса приобретения знаний студентами в университете // Журнал «Высшее образование сегодня». – М., 2017. – Вып. 1. – С. 34-40.
7. Медведев А.В. Некоторые замечания об образовательном процессе // Т. 8: Проблемы управления в социальных системах / Гл. ред. Ф.П. Тарасенко. – Томск: изд. Томского университета, 2015. – Вып. 12. – С. 151 – 171.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОГРАММНО- ЦЕЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДДЕРЖКА ИХ РЕШЕНИЯ

Бондаренко Ю.В., Березнев П.В., Чикомазов А.Н.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Одним из основных направлений социально-экономической политики государства является обеспечение высокого уровня и качества жизни населения. Формирование условий достойной жизни и свободного развития граждан является важнейшей современной задачей на уровне каждого муниципального образования (МО) и предполагает преодоление целого комплекса социальных проблем.

Как показали результаты проведенного нами исследования, значительная часть социальных проблем является общей для муниципальных образований, присущей их большинству, независимо от территориальной принадлежности. Среди них наиболее значимыми являются достаточно высокий уровень безработицы, высокий отток населения, низкий уровень номинальной заработной платы, падение реального дохода, низкий коэффициент рождаемости и т.п. Показатели данных проблем закреплены в целевых индикаторах муниципальных программ социально-экономического развития, и достижение их установленных (целевых) значений должно быть обеспечено за счет разработки и реализации программных мер.

Формированию эффективных подходов к преодолению любой проблемы предшествует выявление ее сути, основной причины. Отметим, что значительная часть перечисленных выше социальных проблем имеет экономическую основу [1], поэтому представляется целесообразным для их эффективного решения использовать возможности администрации муниципального образования в направлении активного привлечения не только собственных ресурсов, но ресурсов хозяйствующих субъектов, функционирующих на его территории. В си-

ду этого разработка современных механизмов программно-целевого управления, обеспечивающих формирование такой программы развития муниципального образования, мероприятия (меры, проекты) которой основаны на организации согласованного взаимодействия и взаимовыгодного сотрудничества администрации с руководством хозяйствующих субъектов в направлении достижения цели программы – обеспечение высокого качества жизни, является практически актуальной.

Следует отметить, что общим вопросам программно-целевого управления и частным задачам формирования программ развития на всех уровнях управления (в том числе, муниципальном) посвящено достаточно большое количество работ (например, [2]-[4]). Вместе с тем, несмотря на большую научную и практическую значимость данных исследований, вопросы разработки и доведения до практической реализации механизмов, обеспечивающих скоординированное взаимодействие администрации с хозяйствующими субъектами в целях решения социальных и экономических задач программы развития, остаются открытыми.

Сложность решения данной задачи обусловлена действием целого ряда объективных факторов, хорошо знакомых разработчикам муниципальных программ. Обозначим наиболее существенные из них.

В первую очередь следует отметить, что деятельность и развитие многих предприятий (в частности, предприятий агропромышленного комплекса) по тем или иным причинам объективным причинам нуждается в поддержке не только со стороны государства, но и муниципального образования. В связи с этим возникает *задача определения минимальной величины и направления предоставления поддержки, достаточной для достижения приемлемых значений показателей развития и предприятия, и муниципального образования в целом.*

Во-вторых, достаточно успешные по показателям экономической деятельности хозяйствующие субъекты обладают достаточно высокой степенью самостоятельности в свободной реализации экономических интересов, не всегда совпадающих с интересами населения и муниципального образования. Разработка *механизмов мотивации таких субъектов к решению актуальных социальных задач, является одной из ведущих проблем.*

Существенным современным фактором, препятствующим реализации значимых социально-экономических проектов, является недостаточная финансовая состоятельность как муниципального образования, так и хозяйствующих субъектов, обостренная негативным фактором низкой инвестиционной привлекательности. Выходом из данной ситуации может служить разработка механизмов *совместного (смешанного) финансирования проектов с обоснованными долями участия каждой стороны.*

Описанные выше задачи объединяет одно общее свойство – необходимость тщательного учета на уровне муниципальной администрации особенностей функционирования хозяйствующих субъектов и интересов их руководства. Эффективное решение этих задач является сложной теоретической и практической проблемой, требующей активного привлечения математического инструментария и разработку соответствующего программного обеспечения.

Для описания предлагаемого подхода представим процесс формирования программы социально-экономического развития муниципального образования в виде последовательности следующих укрупненных этапов:

Этап 1. Комплексная оценка состояния и развития МО. Выявление взаимосвязи социальных и экономических показателей развития. Анализ сильных и слабых сторон МО, выявление конкурентных преимуществ.

Этап 2. Структурирование целей и задач программы развития, определение перечня целевых показателей и индикаторов.

Этап 3. Определение конечных (требуемых, плановых) значений целевых показателей.

Этап 4. Формирование перечня проектов и мероприятий, обеспечивающих достижение конечных результатов (в том числе, за счет регулирования хозяйствующих субъектов муниципального образования).

Этап 5. Определение источников финансирования, выбор схемы финансирования,

расчет бюджета, оценка эффективности.

Этап 6. Выбор мероприятий, включаемых в программу социально-экономического развития.

Предполагаем, что администрацией муниципального образования (разработчиками программы развития) реализованы этапы 1-3, в результате которых:

- определен период реализации программы;
- составлен перечень и плановые значения целевых показателей развития муниципального образования;
- определен набор таких социальных и экономических показателей программы развития, результаты которых зависят от показателей экономической деятельности хозяйствующих субъектов, функционирующих на территории образования;
- сформирован список хозяйствующих субъектов (преимущественно предприятий крупного и среднего бизнеса), экономическая деятельность которых оказывает значимое влияние на развитие муниципального образования.

Администрация располагает данными статистической и бухгалтерской отчетности предприятий списка.

- для выбранных предприятий сформированы плановые (требуемые) значения показателей, достижение которых является необходимым условием успешности реализации программы;
- получен перечень проектов социально-экономического развития, стоимость реализации которых превосходит доступные собственные средства иницировавших их хозяйствующих субъектов.

Этапы 4-6 формирования программы развития являются наиболее проблематичными с позиции принятия решений. Для успешного формирования эффективных мероприятий, позволяющих с минимальными затратами обеспечить достижение плановых показателей программы развития, разработчикам необходимо решить ряд задач, требующих привлечение, в том числе, и математического инструментария.

Задача 1. Для каждого хозяйствующего субъекта определить собственные возможности по достижению требуемых программой показателей развития, стимулировать их реализацию.

Задача 2. Для каждого хозяйствующего субъекта определить тип регулирующего воздействия (мотивация, поддержка), обеспечивающего в комплексе решение социальных и экономических задач программы развития МО.

Задача 3. Рассчитать параметры регулирующего воздействия (с учетом необходимости минимизации затрат на его реализацию)

Задача 4. Определить распределение затрат хозяйствующего субъекта и муниципального образования при совместном смешанном финансировании социально значимых проектов.

Задача 5. Сформировать пакет мероприятия программы развития, обеспечивающий достижение целевых показателей с минимальными финансовыми затратами.

Для решения описанных выше задач разработан комплекс моделей, механизмов и алгоритмов, включающий:

- математическую модель, позволяющую на основе доступной статистической информации провести анализ перспективной деятельности хозяйствующего субъекта, выявить его возможности и проблемы в достижении требуемых значений программы развития. Модель представляет собой оптимизационную задачу, учитывающую основные взаимосвязи производственных процессов, ограниченность ресурсов, а также экономические цели - получение наибольшей прибыли;
- автоматизированное правило выбора типа регулирующего воздействия каждого конкретного хозяйствующего субъекта (поддержка или мотивация), основанное на модельном анализе его возможностей;
- комплекс механизмов расчета параметров минимальных по затратам регулирующих воздействий, включая: предоставление адресной поддержки на развитие и расширение производства хозяйствующих субъектов; мотивацию к решению социальных задач за счет

предоставления налоговых льгот;

- алгоритм распределения затрат хозяйствующего субъекта и муниципального образования при совместном смешанном финансировании социально значимых проектов, справедливость которого обусловлена количественным расчетом показателей его социальной и экономической значимости;

- оптимизационную многокритериальную модель формирования пакета мероприятий программы развития, обеспечивающего достижение значений целевых показателей программы развития с минимальными затратами средств различных источников финансирования.

Для достижения комплексности решения описанных задач сформирована технология разработки программы развития муниципального образования, включающая описанный выше математический инструментарий, а также методы решения оптимизационных задач, формирования экспертных оценок и анализа данных.

Фрагмент процедуры формирования мероприятий по регулированию хозяйствующих субъектов в целях достижения требуемых значений показателей программы, включенной в технологию, представлен на рисунке 1.

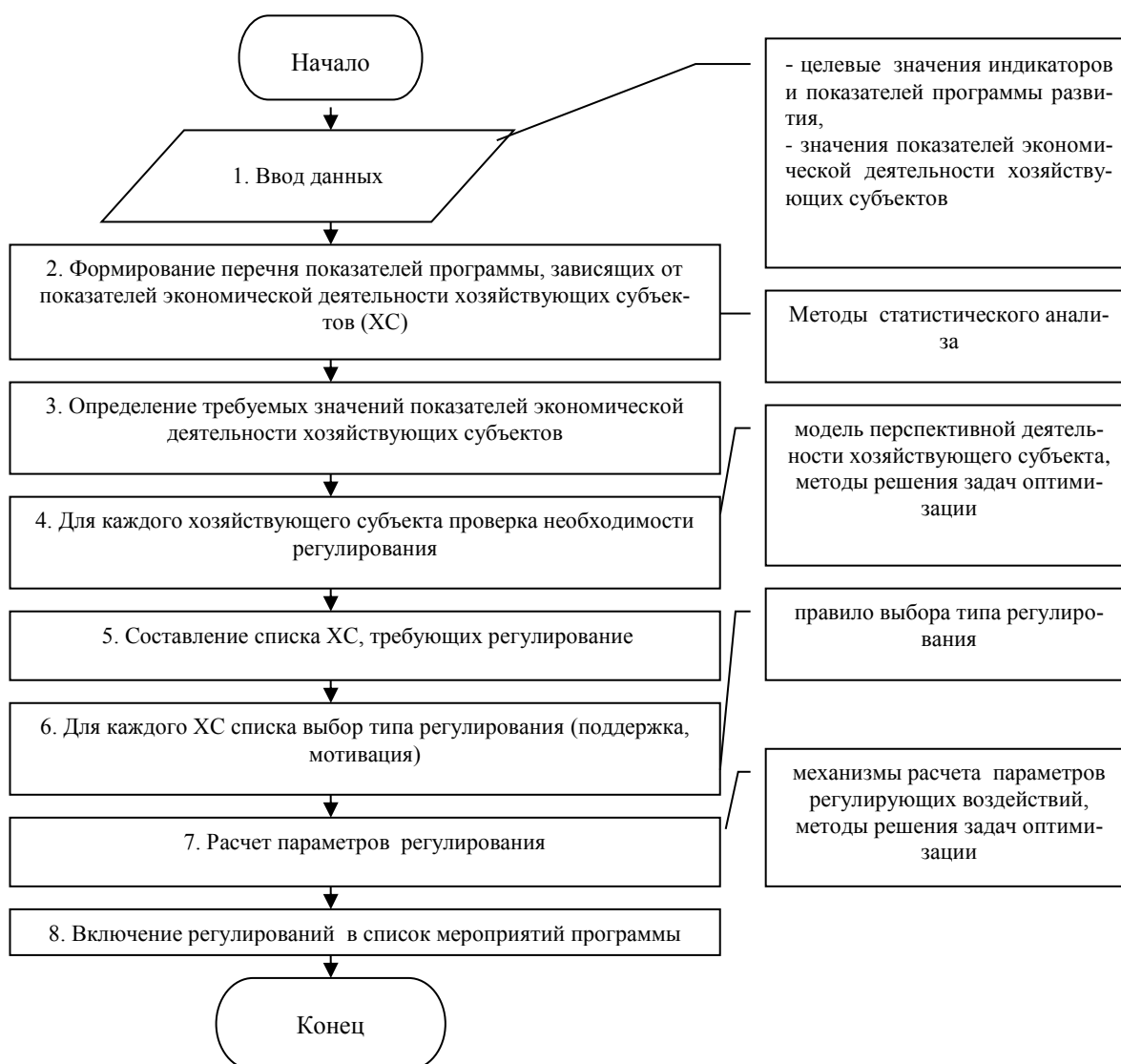


Рисунок 1 – Процедура формирования мероприятий по регулированию хозяйствующих субъектов МО

Разработанный комплекс моделей и алгоритмов решения актуальных задач муниципального управления реализован в среде С#, прошел апробацию в администрации Хлевуенского района Липецкой области. Результаты практического использования позволили сделать выводы о высокой практической значимости предлагаемого комплекса и наметили направления его дальнейшего совершенствования.

Библиографический список

1. Горошко И.В. Согласование социальных и экономических показателей развития региона: понятие и механизмы / И.В. Горошко, Ю.В. Бондаренко // Проблемы управления. – 2015. - № 1. – С. 63-72.
2. Баркалов С.А. Региональное и муниципальное управление / С.А. Баркалов, А.М. Котенко, Ю.П. Лихотин. – Воронеж: «Научная книга», 2010. – 752 с.
3. Бурков В.Н. Механизмы финансирования программ регионального развития / В.Н. Бурков, А.Ю.Заложнев, С.В. Леонтьев, Д.А. Новиков, Р.А. Чернышев. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 55 с.
4. Управление и контроль реализации социально-экономических целевых программ / [Под ред. В.В. Кульбы и С.С. Ковалевского]. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 400 с.
5. Бондаренко Ю.В. Математический инструментарий оказания эффективной поддержки хозяйствующим субъектам региона / Ю.В. Бондаренко, В.Л. Порядина, А.Н. Чекомазов // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – Т.59. - № 1. – С. 20-24.

СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА

Баркалов С.А., Насонова Т.В., Калинина Н.Ю.

*Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

Важнейшей составной частью стратегии любой организации является её кадровая политика - система правил и норм, приводящих человеческий ресурс в соответствие со стратегическими целями организации. Инструментом обеспечения такого соответствия служит система развития компетентности персонала, выполняющая задачи оценки и развития компетенций, необходимых сотрудникам на каждом этапе развития организации.

Для разработки содержания и методов обучения, которые смогут помочь в достижении целей обучения и целей организации, необходимо выявить качественную и количественную потребности в обучении. Количественная потребность определяет число работников разных категорий, нуждающихся в обучении, а качественная - характеризует те компетенции, которые требуют формирования или развития у данных работников. Поэтому важным инструментом выявления потребности в обучении является оценка (аттестация) персонала, основанная на компетентностном подходе. Таким образом, оценка и развитие компетенций являются взаимосвязанными элементами системы развития компетентности персонала.

Компетентность трактуется как обладание специалистом соответствующими компетенциями - устойчивыми характеристиками человеческой личности, предопределяющей поведение человека во множестве ситуаций и рабочих задач [4]. В основе компетенции лежат базовые свойства личности человека (рисунок 1). Самыми глубокими из них являются психофизиологические свойства и мотивы – оценить и развить их труднее всего. Ценности и установки формируются под влиянием факторов внешней среды (воспитание в семье, коллективе, корпоративная культура). Проще всего в этой цепочке, формируются новые знания, умения и навыки.

На практике компетентность проявляется как способность решать рабочие задачи, а компетенции - как стандарты поведения, обеспечивающие эту способность. В аналитическом виде компетентность может быть представлена в виде формулы: Компетентность = (компе-

тенция 1 + компетенция 2 + + компетенция n) + С, где n – число компетенций, входящих в данную компетентность, С - результат синергетического эффекта. Для оценивания компетентности работников может быть использована модель, предложенная в [5].

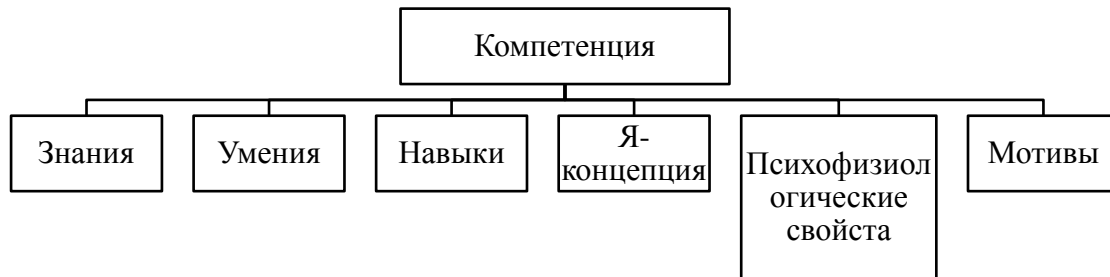


Рисунок 1 – Структура компетенции

Существуют различные стратегии повышения уровня компетентности персонала организации [3]. Первая - это стратегия обучения, при которой организация тратит определенные средства для повышения уровня компетентности сотрудников в той или иной области деятельности. Вторая - это стратегия найма и увольнения, при которой организация принимает на работу сотрудника, имеющего высокий уровень компетентности в той или иной области деятельности, увольняя соответствующего сотрудника, не имеющего высокого уровня компетентности. И третья - это стратегия переназначения, при которой организация меняет местами сотрудников.

Рассмотрим стратегию обучения, которая заключается в определении множества сотрудников, уровень компетентности которых желательно повысить, и в определении тех областей деятельности, в которых желательно повышение уровня компетентности работающих в них сотрудников.

Примем, что структура распределения объемов работ не меняется при росте уровня компетентности сотрудников. В этом случае повышение уровня компетентности сотрудника в области работ, которые ему назначены, повысит уровень выполнения именно этих работ. Для формальной постановки задачи обозначим K_{ij} - затраты на обучение сотрудника j (на повышение уровня его компетентности) в области работ i -го типа. Очевидно, это увеличит объем работ, выполняемых сотрудниками с высоким уровнем компетентности, на величину x_{ij} . Обозначим $y_{ij} = 1$, если сотрудник i , которому назначены работы j -го типа в объеме x_{ij} , направлен на обучение, $y_{ij} = 0$ в противном случае; $T(x)$ - множество пар (i, j) таких, что $x_{ij} > 0$ и сотрудник j имеет нормальный уровень компетентности в области деятельности j .

Задача. Определить y_{ij} , $(i, j) \in T(x)$, максимизирующие

$$\Delta(x, y) = \sum_{(i, j) \in T(x)} x_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

при ограничении

$$\sum_{(i, j) \in T(x)} K_{ij} y_{ij} \leq H, \quad (2)$$

где H – средства, выделенные на обучение.

Это классическая задача о ранце, эффективно решаемая при целочисленных значениях параметров методом дихотомического программирования [2].

Пример. Рассмотрим сеть на рисунке 2. В организации n сотрудников, которые должны выполнять за планируемый период m видов работ. Пропускные способности входных и выходных дуг указаны у дуг.

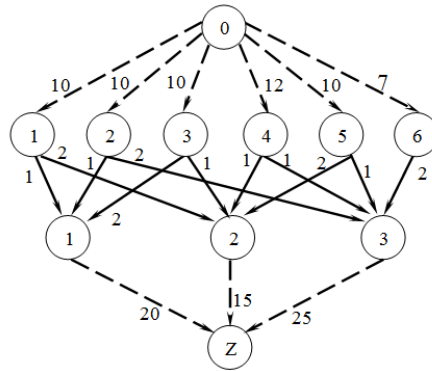


Рисунок 2 - Пример распределения работ

Рассмотрим объемы работ по дугам с цифрой 2. Имеем $x_{12}=10$, $x_{23}=10$, $x_3=10$, $x_{52}=10$, $x_{63}=7$. Заметим, что сотрудник 2 перегружен, так как $x_{12} + x_{52} = 20 > c_2 = 15$.

Определяем поток максимальной величины для оставшихся работ с учетом ограничений на пропускные способности выходных дуг. Алгоритм определения потока максимальной величины известен [1]. Поэтому приведем результат: $x_{43} = 8$.

Осталась нераспределенной 4 ед. работы 4. Назначаем ее сотруднику 2, $x_{42} = 4$. Имеем $x_{11} = 5$, $x_{2Z} = 24 > 15$, $x_{3Z} = 25 = 25$.

Принимаем вершину 2 второго уровня за вход сети, а вершину 1 второго уровня за выход сети (рисунок 3).

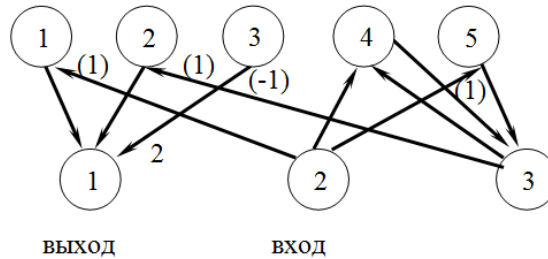


Рисунок 3 - Пример распределения работ

Длины дуг с цифрой 2 указаны у дуг. Длины остальных дуг равны 0. Вершина 6 исключена, поскольку нет ни одного пути из входа в выход, проходящего через вершину 6.

Существует три пути из вершины 2 в вершину 1: $\mu_1 = (2,1,1)$ длины 1, $\mu_2 = (2,4,3,2,1)$ длины 1 и $\mu_3 = (2,5,3,2,1)$ длины 2. По пути μ_1 можно переназначить все 9 единиц работы 1. Поэтому выбираем путь μ_1 .

В результате решения задачи повышения уровня компетентности персонала организации путем назначения распределения работ по специалистам, имеем оптимальное решение: $x_{11} = 9$, $x_{12} = 1$, $x_{23} = 10$, $x_{32} = 10$, $x_{42} = 4$, $x_{43} = 8$, $x_{52} = 10$, $x_{63} = 7$. Объем работ, выполненный с высоким уровнем компетентности, равен 28 единицам, что составляет $\frac{28}{59} \approx 47\%$, что свидетельствует о достаточно высоком уровне компетентности организации.

Рассмотрим полученное распределение работ. Пусть множество $T(x)$ состоит из трех пар (1,1), (4,2) и (4,3) с объемами $x_{11} = 9$, $x_{42} = 4$, $x_{43} = 8$. Значения затрат на обучение приведены ниже.

(i, j)	(1,1)	(4,2)	(4,3)
h_{ij}	10	6	3

Принимаем $H = 4$. Решаем задачу максимизации: $9y_{11} + 4y_{42} + 8y_{43}$, при ограничении $10y_{11} + 6y_{42} + 3y_{43} \leq 4$. Ее решение очевидно: $y_{43} = 1$. Увеличение уровня компетентности составляет $\frac{800}{59} \approx 13,5\%$.

Пусть, однако, осуществляется обучение сотрудника 1 работе в области деятельности 2. Однако существует оптимальное распределение $x_{11} = 5$, $x_{12} = 5$, $x_{23} = 10$, $x_{21} = 4$, $x_{23} = 6$, $x_{43} = 12$, $x_{52} = 10$, $x_{63} = 7$, в котором сотрудник 1 задействован в области деятельности 2. В этом случае оптимальная стратегия обучения - это $y_{43} = 1$ и $y_{12} = 1$ с увеличением уровня компетентности на \bar{x}_i .

Рассмотренный пример подсказывает простое эвристическое правило: при решении задачи определения оптимального потока следует рассматривать увеличение потоков по дугам в очередности возрастания величины h_{ij} , то есть затрат на обучение. Заметим, однако, что задача определения оптимальной стратегии обучения с учетом возможности перераспределения объемов работ ждет своего решения.

Библиографический список

6. Бурков, В.Н. Теория графов в управлении организационными системами / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 265 с.
7. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации / И.В. Буркова // Автоматика и телемеханика. – 2009. - № 10. – С. 15–21.
8. Ириков, В.А. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста / В.А. Ириков, Д.А. Новиков, В.Н. Тренёв. – М: ИПУ РАН, 2009, – 228 с.
9. Насонова, Т.В. Задачи повышения уровня компетентности персонала организации / С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, Т.В. Насонова // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – № 3.1 (25). – С. 110-116.
10. Насонова, Т.В. Модель оценивания профессиональной пригодности работников, основанная на теории латентных переменных / С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, С.И. Моисеев, Т.В. Насонова // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – № 1.1 (23). – С. 140-149.

МЕХАНИЗМ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ (НА ПРИМЕРЕ УЧРЕЖДЕНИЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ)

Миронова Е. В., Миронова К. А.

*Прокопьевский электромашиностроительный техникум,
г. Прокопьевск, Россия
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Современные социальные исследования образовательной сферы России показывают, что мотивация молодежи к получению качественных и глубоких знаний по выбранной специальности существенно снизилась. Материальные трудности в семье и отсутствие четких перспектив в будущем приводят к тому, что обучающиеся пытаются решать свои проблемы в ущерб учебным занятиям. Это привело к тому, что посещаемость учебных занятий в последние несколько лет резко сократилась. Помимо этого, для значительной части обучающихся характерна пассивность во время учебного процесса и нежелание получать новые

знания самостоятельно. Вместе с тем, в связи с усложнением технологических процессов на производстве, работодатели предъявляют к выпускникам учебных заведений более жесткие требования, соответствовать которым молодые люди не могут, во многом по причине безответственного отношения к учебе. Это обстоятельство приводит к сложности при трудоустройстве выпускников и еще более усугубляет ситуацию.

Сложившаяся ситуация требует разработки новых механизмов стимулирования активной деятельности обучающихся в учебном процессе. Применяемые некоторыми преподавателями методы «запугивания и наказания» на сегодняшний день мало эффективны. Большинство обучающихся очень быстро понимает, что в связи с введением системы подушевого финансирования, учебному заведению становится невыгодно отчислять нерадивых учеников и к серьезным последствиям пропуски занятий не приведут.

Основная цель, которая ставилась при разработке механизма оперативного контроля деятельности обучающихся как раз и заключается в том, чтобы вернуть студентов в аудитории и повысить значимость процесса обучения для каждого конкретного обучающегося. Эту задачу можно успешно решить в том случае, если рассмотреть обучение как сложный процесс, эффективность которого следует оценивать множеством показателей.

В процессе многолетнего наблюдения за деятельностью обучающихся удалось выявить 5 ключевых показателей, которые можно количественно оценить практически на каждом учебном занятии. К таким показателям относятся: присутствие обучающегося на учебном занятии; выполнение заданий, на внеаудиторную самостоятельную работу, связанную с занятием; активность во время занятия; выполнение аудиторных учебных нормативов; уровень дисциплины. Для упрощения процедуры обработки информации и снижения влияния субъективных факторов, все показатели являются бинарными, то есть могут принимать значение 1, либо 0. Единица проставляется при выполнении данного показателя обучающимся, 0 - при его невыполнении.

Остановимся подробнее на процедуре оценивания значений показателей деятельности обучающихся.

1. Посещение учебных занятий, (П1). 1- проставляется в случае, если обучающийся присутствует в аудитории не менее 70% времени учебного занятия. В противном случае проставляется 0, независимо от причины отсутствия обучающегося.

2. Готовность к занятию (выполнение заданий для внеаудиторной самостоятельной работы), (П2). 1- проставляется в случае выполнения задания в полном объеме в установленные сроки. 0- проставляется в случае невыполнения, либо не полного выполнения задания. Правильность выполнения задания контролируется вне учебного занятия. В случае, когда количество ошибок превышает допустимое значение, задание возвращается на доработку, либо обучающийся приглашается на индивидуальную консультацию.

3. Активность, (П3). 1- проставляется в случае, если обучающийся в ходе занятия принимал участие в обсуждении ситуаций, либо задавал вопросы по тематике занятия, либо просил уточнить непонятные моменты. В случае проявления разовой активности также проставляется 1, при условии, что обучающийся внимательно слушал содержание учебного материала и записывал необходимую информацию. В противном случае проставляется 0.

4. Выполнение аудиторных учебных нормативов. 1- проставляется в случае, если обучающийся выполнил не менее 80 % заданий, либо записал не менее 80% лекционного материала. Если обучающийся работал на протяжении большей части учебного занятия, но допустил ошибку и не смог выполнить 80 % задания, ему также проставляется 1, а задание переводится в раздел внеаудиторной самостоятельной работы и контролируется в рамках следующего занятия по показателю П2. В противном случае выставляется 0.

5. Дисциплина, (П5). В данном случае фиксируются нарушения дисциплины, к которым могут относиться опоздание без уважительной причины, смех, громкие разговоры не по теме занятия и т.д., то есть любые действия обучающегося, которые нарушают учебный процесс. В этом случае проставляется 0. За дисциплину получают 1 все обучающиеся, присут-

ствовавшие на занятии и не допустившие нарушений дисциплины.

При подведении итогов учебного занятия обучающимся озвучивается количество баллов, которые они набрали, и объясняются причины, по которым были сняты баллы за тот или иной показатель. Все спорные ситуации решаются индивидуально. Таким образом, максимальное количество баллов, которое может набрать обучающийся в рамках одного занятия – 5. Эти данные могут быть использованы преподавателем для накопления оценок в учебном журнале.

При проведении промежуточной и итоговой аттестации производится суммирование всех баллов, которые набрал обучающийся во время всех занятий, то есть определяется рейтинг обучающегося за аттестационный период. Параллельно с этим определяется максимальное количество баллов, которое может набрать обучающийся. Максимальное количество баллов будет зависеть от числа занятий, а также от их специфики. В ряде случаев, некоторые показатели не контролируются и по ним всей группе проставляется 0 баллов. Например, на первом занятии в семестре нельзя проконтролировать готовность, а при проведении тематических экскурсий к таким показателям относятся готовность и активность. При проставлении оценок за промежуточную и итоговую аттестацию можно руководствоваться следующей шкалой:

- 90-100 % баллов от максимума – оценка «отлично»,
- 75-89 % баллов от максимума - оценка «хорошо»,
- 51-74 % баллов от максимума – оценка «удовлетворительно»,
- 0-50 % баллов от максимума – оценка «неудовлетворительно».

В случае, когда обучающийся желает улучшить оценку, он может добрать недостающие баллы, выполнив задания для внеаудиторной самостоятельной работы. Количество баллов за задание определяется преподавателем в зависимости от его сложности и трудоемкости.

Изложенный механизм оперативного контроля деятельности обучающихся в рамках учебного занятия прошел успешную апробацию в Прокопьевском электромашиностроительном техникуме на протяжении 2016-2017 учебного года. Для проведения эксперимента была выбрана группа 4 курса в количестве 17 человек. В группе имелись разные типы обучающихся, от любознательных и активных до проявляющих полное безразличие к учебному процессу. Ряд студентов на момент проведения эксперимента были трудоустроены, либо имели детей.

Первая часть эксперимента заключалась в проведении скрытого контроля и проводилась в течение осеннего семестра. Основная задача при этом заключалась в сборе исходных данных и оценке сложившейся ситуации. Обучающиеся не были посвящены в суть эксперимента и работали в той манере, к которой они привыкли за годы обучения.

Вторая часть эксперимента проводилась в весеннем семестре в рамках изучения второй части того же профессионального модуля. На первом занятии в семестре группе была озвучена суть эксперимента, подробно разъяснена процедура проставления баллов по всем показателям и в качестве стимула было предложено получить оценку за итоговую аттестацию по результатам рейтинга за семестр без дополнительных усилий. Далее учебный процесс осуществлялся также, как и в осеннем семестре за исключением того, что в конце каждого занятия обучающимся озвучивались итоги в виде набранных ими баллов и, при необходимости, разъяснялись причины недобора баллов.

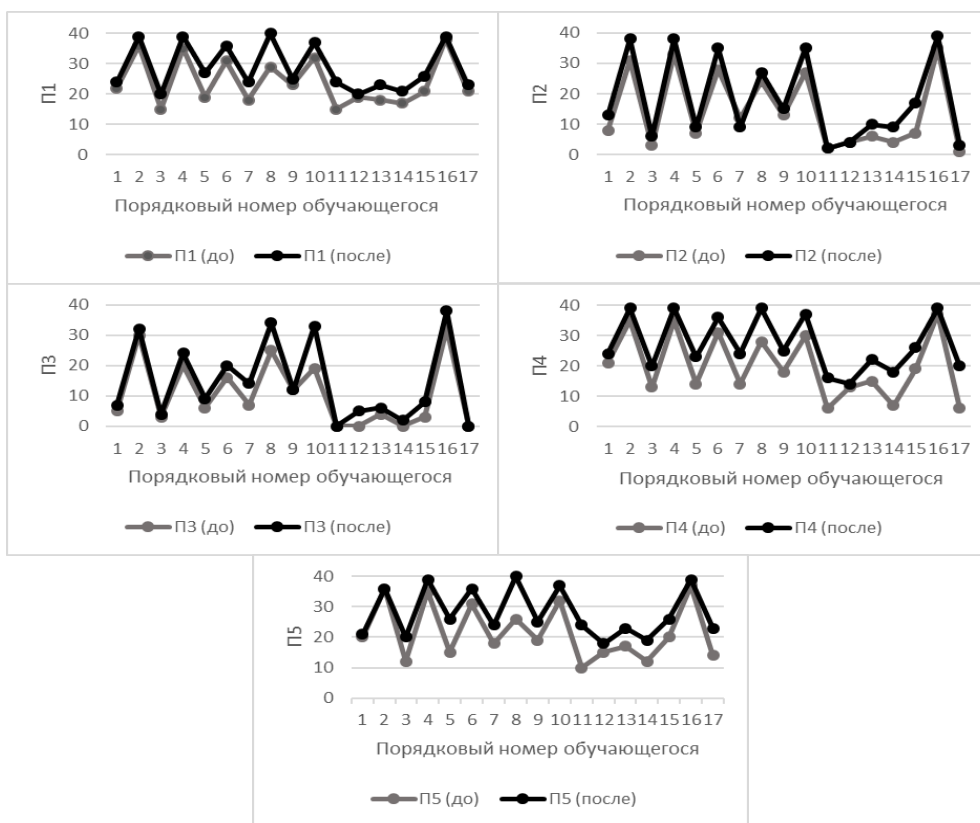
Результаты эксперимента по оценке эффективности предложенного механизма оперативного контроля приведены на рисунке 1.

Результаты эксперимента наглядно показывают, что в весеннем семестре произошло заметное увеличение посещаемости учебных занятий, особенно теми обучающимися, которые не имеют объективных причин для пропусков. Это, в свою очередь, привело к росту других показателей, таких как готовность, активность и выполнение аудиторных учебных нормативов. Количество нарушений дисциплины на занятиях сократилось до минимума, улучшился микроклимат в группе, активизировались процессы взаимопомощи и взаимовыручки.

Особого внимания заслуживает тот факт, что сократилось количество обучающихся, использующих мобильные телефоны во время занятий.

Разработанный механизм оперативного контроля деятельности обучающихся во время учебного занятия обладает следующими достоинствами:

- прост для освоения и не требует больших затрат времени на реализацию;
- легко адаптируется к различным типам занятий;
- позволяет существенно повысить накопляемость оценок;
- дает возможность достижения максимального результата любому студенту, независимо от его умственных способностей.
- позволяет эффективно контролировать выполнение заданий для внеаудиторной самостоятельной работы.



П1 - посещение занятий, П2 - готовность (выполнение ВСР), П3 – активность, П4 - выполнение аудиторных учебных нормативов, П5 – дисциплина.
Максимальное значение показателей - 40

Рисунок 1 – Изменение показателей деятельности обучающихся в результате внедрения механизма оперативного контроля

Вместе с тем, проведенный эксперимент позволил выделить ряд недостатков, которые несколько ограничивают его область применения. К таковым относятся:

1. Затруднено использование механизма в малознакомой аудитории. На этапе знакомства требуется помощь старосты группы.
2. Невозможность использования для больших аудиторий обучающихся, в частности, при проведении поточных занятий.

Библиографический список

1. Механизмы управления: учебное пособие / под ред. Д. А. Новикова – М.: ЛЕНАНД, 2011. -192 с.
2. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
3. Механизмы управления организационными системами / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков, А. В. Щепкин. – М.: Физматлит, 2008.

ОБ АЛГОРИТМЕ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСОВАННЫХ ВУЗОВСКИХ РАСПИСАНИЙ

Добрынин А.С., Кулаков С.М., Тараборина Е.Н.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Содержательная постановка задачи

Полная математическая модель элементов учебной деятельности и вузовского расписания, здесь не приводится, по причине громоздкости. С ней можно ознакомиться по работе [2]. К важнейшим элементам кафедрального расписания относятся:

- а) дисциплины, закрепленные за кафедрой DS^k ;
- б) преподаватели P^k кафедры;
- г) группы обучаемых G^k , с которыми проводят занятия преподаватели кафедры;
- д) аудитории Au , лаборатории La и другие ресурсы, закрепленные за кафедрой.

Предпочтения исполнителей работ (преподавателей и групп обучаемых) могут быть формально представлены соответствующими матрицами $Mr[d, t]$, $Mr[d, t, (au | la)]$, где d – день, t – временной слот (или “пара”), au – аудитория, la – лаборатория.

Содержательно, суть задачи формируется следующим образом. Заданы: агенты-кафедры преподаватели и прикрепленные студенческие группы; ресурсы кафедры – лаборатории (la) аудитории (au) и другие коллективные рабочие места; множество учебных работ – лекционных, практических, лабораторных и других. Определены требования конкретных исполнителей работ (преподавателей и групп обучаемых). Активы кафедры связаны отношениями, которые хорошо иллюстрирует типовая карта поручений, см. ниже.

№	Наименование предметов	№№ групп	Число студентов	Осенний семестр														
				Лекции	Практич. занятия	Консультации	Лабораторные	Зачеты	Экзамены	Дипломный проект	Курсовой проект	Практика	ГЭК	Занятия с асп.	Посещение занятий	КСР	Руководство НИР	
1.	Программирование	НСУ-14	16	18	20				8									
2.	Информационная безопасность	НСУ-12	17	36			18	6										
3.	Программирование	ИДТ-14	20	18	18				6									
4.	Операционные системы	ИДТ-13	18	16			18	5										

Агрегированная работа, job_{aggr}
 job = {GUID ID – идентификатор дисциплины;
 GUID ID – идентификатор преподавателя;
 GUID ID1...GUID ID5 – идентификаторы студ. групп;
 pCnt – количество точек на врем. сетке (две недели);
 szCnt – размер работы для привязки аудиторий;
 jType – тип работы (лекция, практ., лаб. и т.д.);
 isAggregate=true; }

Атомарная работа, job_{atm}
 job = {GUID ID – идентификатор дисциплины;
 GUID ID – идентификатор преподавателя;
 GUID ID1...GUID ID5 – одна группа, другие - {null};
 pCnt – количество точек на врем. сетке;
 szCnt – размер работы для привязки аудиторий;
 jType – тип работы (лекция, практ., лаб. и т.д.);
 isAggregate=false; }

Рисунок 1 - Структура карты поручений преподавателя

Составление учебных планов и подготовка карт поручений, представляют собой множество смежных задач, которые косвенно присутствуют в задаче построения учебного расписания. Во избежание коллизий при слиянии локальных (кафедральных) расписаний желательно, чтобы элементы DS^k , P^k , G^k , Au^k из разных кафедр не пересекались друг с другом. Ученые секретари различных кафедр, которые формируют локальные расписания и карты поручений должны в основном использовать только собственные активы при планировании

учебных работ и выделенный им диапазон таймслотов. Такие требования могут быть выполнены на практике. К примеру, предпосылки, для простого слияния кафедральных расписаний в общеузовское без коллизий, можно сформулировать семантическим утверждением: “если ученый секретарь выпускающей кафедры N будет использовать при планировании только свои активы {группы, преподаватели, дисциплины и аудитории} и выделенный руководством диапазон таймслотов, то коллизий при слиянии отдельных кафедральных расписаний в общеузовское не возникнет”.

Таким образом, необходимо:

1) На базе карт поручений кафедры сформировать учебные работы (указав для каждой из них сведения: дисциплина, преподаватель, место проведения, желательное время проведения) с определенными свойствами, которые могут быть распределены по временной сетке. Работе должен соответствовать один вид занятий (лекция, практика, лабораторная работа и др.), а также одна или несколько групп обучаемых.

2) Сформировать кластер ограничений, к которому относится невозможность использования определенного актива (преподавателя, аудитории, студенческой группы, дисциплины) несколько раз, в пределах одного слота времени (“пары”) [d,t].

3) Распределить работы по временной сетке так, чтобы все счетчики времени работ (или счетчики таймслотов) обратились в нулевые значения и были учтены требования, зачастую противоречивые, исполнителей расписания, с учетом «жестких и мягких» ограничений на конечное расписание.

Несмотря на «простое» содержательное описание, сформулированная задача сложна, как с позиции алгоритмической машинной реализации, так и с позиции роста вычислений (иными словами, является NP-трудной). Однако, относительно невысокая размерность для отдельной кафедры позволяет получить согласованное решение.

Алгоритм приоритетного распределения учебных работ

Авторами предлагается общий алгоритм приоритетного распределения учебных работ, который может использоваться для синтеза согласованных с исполнителями расписаний. Фактически, предлагается человеко-машинная процедура, которая состоит из трех основных этапов:

1) Формирование и актуализация сведений к составлению расписания занятий, включая перечень всех кафедральных активов и перечень требований (пожеланий) исполнителей работ (агентов);

2) Машинный синтез кафедрального расписания, по критериям минимизации «окон» и максимального учета требований агентов.

3) Слияние отдельных кафедральных расписаний в общеузовское осуществляется при отсутствии коллизий ранее сформированных фрагментов. В случае невозможности удовлетворения важных требований к активам целесообразно выделение дополнительных таймслотов в расписании.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к алгоритму, является формирование корректных, качественных расписаний на каждом этапе синтеза. Такая необходимость вызвана большим количеством информационных связей, вариативных предпочтений исполнителей и косвенных зависимостей. Ключи сортировки приоритетов определяются выражениями (1) (2):

$$UID_{jb_key} = \sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S Mr[d, s] \quad (1)$$

где UID_{jb_key} – ключ сортировки для жадного алгоритма в пространстве “преподаватель – группа – учебная нагрузка”.

$$UID_{ib_key} = Mr[d, s] \quad (2)$$

Общее представление алгоритма распределения работ приведено на рисунке 2.

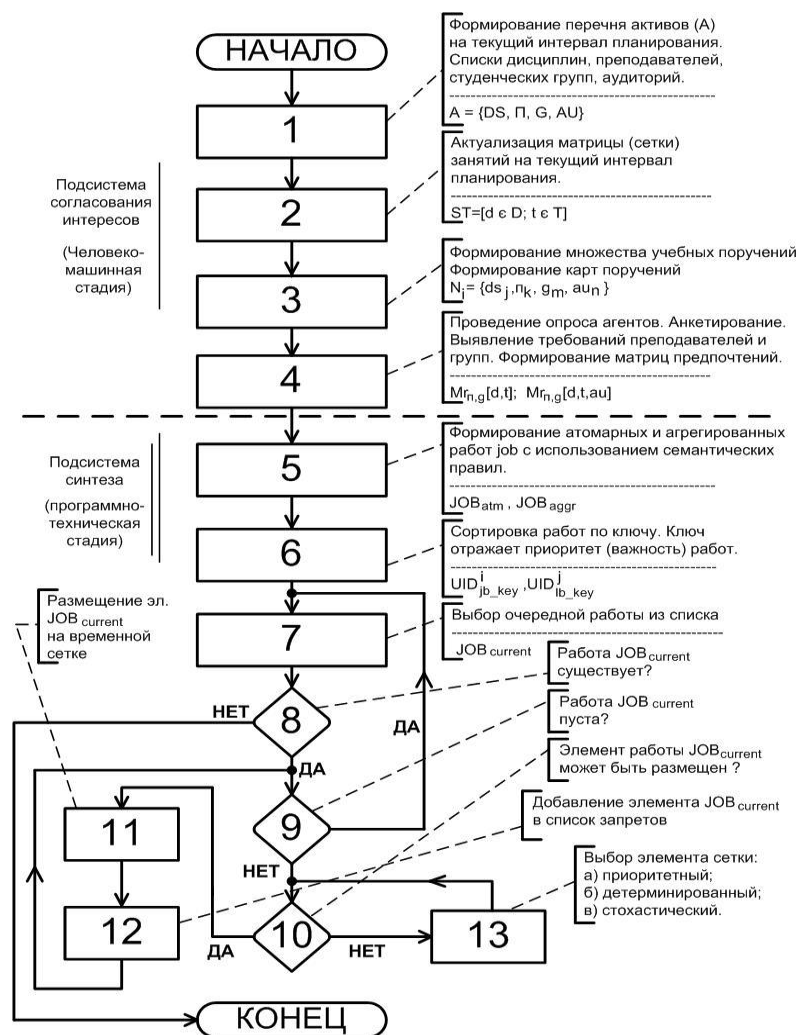


Рисунок 2 – Укрупненная процедура приоритетного распределения учебных работ

Заключение

Статья рассматривает задачу синтеза согласованных кафедральных расписаний [1,4], с учетом пожеланий (требований) исполнителей работ. Укрупненная человеко-машинная процедура может быть реализована в составе крупного алгоритмического комплекса построения расписаний [3] или в рамках отдельного программного продукта. Допускаются изменения и переработка отдельных элементов алгоритма по мере его программной реализации, а также при возникновении технических проблем или организационных проблем.

Библиографический список

1. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с. ISBN 978-5-397-00411-4.
2. Добрынин А.С. Формализация задачи построения расписания занятий на уровне кафедры.- С.М. Кулаков, В.В. Зимин, Н.Ф. Бондарь // Научное обозрение.-2013.-№9.-С. 95-101.
3. Добрынин А.С. О формировании комплекса инструментальных средств ИТ-провайдера для построения расписаний процесса внедрения сервиса.- С.М. Кулаков, В.В. Зимин, Н.Ф. Бондарь // Научное обозрение. – 2013.-№8.-С. 93-101.
4. Койнов Р.С. Об использовании принципа согласованного управления в задачах внедрения ИТ-сервиса. – А.С. Добрынин, С.М. Кулаков, В.В. Зимин // Вестник развития науки и образования. 2013. № 6. – С. 23-27.

РАЗРАБОТКА ОТЧЕТА «МОНИТОРИНГ КУРСОВ» К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ MOODLE

Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А.

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

Согласно федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования третьего поколения (ФГОС ВО 3+) электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС) университета должна обеспечивать «... фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения программы ...» [1].

В качестве системы, обеспечивающей фиксацию образовательного процесса, может использоваться система управления обучением Moodle [2]. Moodle – это модульная объектно-ориентированная среда с открытым исходным кодом (распространяется под лицензией GNU GPL), что позволяет сторонним разработчикам создавать различные типы дополнительных модулей. Одним из примеров таких модулей является отчет, доступный из любого электронного курса.

Moodle позволяет осуществлять контроль результатов обучения с помощью двух предустановленных модулей курса: задание и тест. Задание предполагает отправку ответа обучающимся в виде файла, который в дальнейшем проверяется преподавателем с выставлением итоговой оценки и размещением рецензии (отзыва). Модуль теста предполагает создание тестов с различными типами вопросов. Наполняя электронные курсы, преподаватели допускают типовые ошибки, примером которых является: создание теста без прикрепления банка вопросов, что делает невозможным прохождение тестирования; отсутствие студентов, подписанных на курс, а также ряд других ошибок. Поэтому возникает необходимость формирования отчетности, позволяющей отслеживать ошибки подобного рода, а также оценки активности работы обучающихся и преподавателей в электронных курсах Moodle.

Система управления обучением Moodle является ориентированной в первую очередь на процесс обучения, а не на процесс управления обучением. Поэтому в ней не предусмотрено каких-либо администраторских средств для контроля за деятельностью обучающихся и преподавателей. В настоящий момент в Moodle нет какого-либо отчета для организации мониторинга электронных курсов, поэтому для формирования подобной отчетности необходимо выполнить ряд действий:

- зайти во все электронные курсы выбранной категории;
- проверить, что студенты подписаны на курс;
- проверить присутствие в курсе модулей для фиксации хода образовательного процесса (задания или тесты);
- проверить наличие в курсе неоцененных работ;
- оценить общую «завершенность» курса (обобщенная оценка количества выполненных и оцененных работ в курсе).

В результате формирование такого отчета для тысячи и более курсов занимает огромное количество времени.

Следует отметить, что система Moodle позволяет систематизировать электронные курсы по категориям (в роли которых могут выступать, например, кафедры). В результате подобную отчетность можно было бы формировать по конкретной категории курсов из системы Moodle. Поэтому становится актуальным вопрос разработки плагина отчета. С точки зрения Moodle отчет является папкой со скриптами, расположенной в директории report. Структура расположения скриптов аналогична другим типам плагинов. Доступ к отчету можно получить из блока «Настройки» любого курса через вкладку «Отчеты», для чего необходимо в файле плагина lib.php определить функцию, аналогичную показанной на рисунке 1.

```

function report_activity_extend_navigation_course($reportnav, $course, $context) {
    if (has_capability('report/activity:view', $context)) {
        $url = new moodle_url('/report/activity/index.php', array('id' => $course->id));
        $reportnav->add(get_string('pluginname', 'report_activity'), $url, null,
            navigation_node::TYPE_SETTING, null, new pix_icon('i/report', ''));
    }
}

```

Рисунок 1 – Пример функции добавления ссылки на отчет в блок навигации

В программном коде на рисунке 1 сначала с помощью Moodle Access API выполняется проверка наличия права на просмотр отчета, а потом генерируется ссылка на отчет, которая в дальнейшем добавляется в блок навигации электронного курса.

Разрабатываемый отчет должен позволять отслеживать следующие замечания по курсам:

- отсутствие преподавателей в курсе;
- студенты не подписаны на электронный курс;
- в курсе нет ни одного файла;
- в курсе нет ни одного задания или теста;
- в курсе есть неоцененные работы.

Отчет должен поддерживать возможность экспорта данных в табличный процессор Microsoft Excel.

При его создании следует использовать интерфейс программирования Moodle API, который предоставляет разработчику множество полезных функций [3]. Для проверки наличия преподавателей в курсе можно использовать Enrolment API и Access API: преподавателем является подписанный на курс пользователь, который обладает правами оценивания задания и теста. Чтобы определить, что на курс подписаны студенты, следует сравнить число преподавателей курса с общим числом пользователей, подписанных на курс. С помощью специальной функции `get_fast_modinfo()` системы управления обучением Moodle можно получить все сведения о модулях электронного курса: список заданий и тестов, количество файлов, настройки модулей и другое.

В результате был разработан модуль отчета, внешний вид которого представлен на рисунке 2.

Мониторинг курсов			
Экспорт в Excel			
Категории курсов			
Институт физической культуры, здоровья и спорта			
Курс	Преподаватель (последний вход)	Обнаруженные замечания	
Тяжелая атлетика. Очное. Бакалавриат	Абрамов Виктор Михайлович (Никогда) Косарева Елена Ивановна (48 дн. 13 час.) Решетов Борис Александрович (69 дн. 1 ч.)	<ul style="list-style-type: none"> замечаний не обнаружено завершенность курса: 51,18% 	
Футбол. Очное. Бакалавриат	Удинов Александр Николаевич (50 дн. 23 час.)	<ul style="list-style-type: none"> замечаний не обнаружено завершенность курса: 26,33% 	
Оздоровительные технологии в физической культуре. Очное. Бакалавриат	Левина Ирина Леонидовна (22 дн. 21 час.)	<ul style="list-style-type: none"> есть неоцененные работы (3) завершенность курса: 38,27% 	
Выполнение заданий курса:			
Название модуля	Общее количество работ	Число загруженных работ	Число оцененных работ
Место для прикрепления заполненной анкеты	14	8	7
Место для прикрепления файла с выполненным заданием	14	8	8
Заполненная рабочая тетрадь	14	1	0
Комплекс "малых форм" физической активности	14	0	0
Презентация "Современные оздоровительные системы"	14	1	0
Итого	70	18	15
Выполнение тестов курса:			
Название модуля	Общее количество тестов	Число выполненных тестов	
Входной тест	14	11	
Тест 2 модуля	14	10	
Итого	28	21	

Рисунок 2 – Внешний вид отчета «Мониторинг курсов»

Отчет отображает все соответствующие выбранной категории электронные курсы, включая вложенные. Для каждого курса представлен список преподавателей со временем последнего входа в курс, обнаруженные замечания, а также общий процент завершенности курса, на который влияет количество выполненных и оцененных заданий, число пройденных тестов обучающимися. Подробности о количестве сданных и оцененных работ разворачива-

ются с помощью специальной кнопки, расположенной в правой части таблицы для каждого курса (реализовано с помощью библиотеки jQuery).

Важной особенностью отчета является поддержка экспорта данных в табличный процессор Microsoft Excel. Для этого используется объект MoodleExcelWorkbook системы Moodle, который предназначен для работы с электронными таблицами. В свою очередь для работы со страницами Excel используется объект MoodleExcelWorksheet. Результат экспорта отчета представлен на рисунке 3.

Курс	Преподаватель (последний вход)	Общее количество работ	Число загруженных работ	Число оцененных работ	Общее количество тестов	Число выполненных тестов	Обнаруженные замечания
Тяжелая атлетика. Очное. Бакалавриат *	Абрамов Виктор Михайлович (Никогда); Косарева Елена Ивановна (48 дн. 14 час.); Решетов Борис Александрович (69 дн. 2 час.)	0	0	0	170	87	замечаний не обнаружено
Футбол. Очное. Бакалавриат *	Ушинов Александр Николаевич (51 дн.)	125	0	0	250	95	замечаний не обнаружено
Оздоровительные технологии в физической культуре. Очное. Бакалавриат *	Левина Ирина Леонидовна (22 дн. 22 час.)	70	18	15	28	21	есть не оцененные работы (3)
Специальная медицинская группа. Очное. Бакалавриат *	Андрienko Маргарита Михайловна (64 дн. 22 час.); Лебедеко Татьяна Петровна (21 час. 54 мин.)	0	0	0	122	64	замечаний не обнаружено
Ритмическая гимнастика. Очное. Бакалавриат *	Алексеев Андрей Николаевич (1 день 22 час.); Ефимова Светлана Анатольевна (79 дн. 14 час.); Кутявина Татьяна Геннадьевна (50 дн. 23 час.)	350	5	0	350	173	есть не оцененные работы (5)
Общая физическая подготовка на основе комплекса ГТО. Очное. Бакалавриат *	Ким Роман Иосифович (19 дн. 1 ч.)	0	0	0	63	39	замечаний не обнаружено
Шахматы. Очное. Бакалавриат *	Бедарев Сергей Александрович (41 дн. 3 час.); Зайцев Вадим Владимирович (55 дн. 20 час.); Сорокина Тамара Николаевна (66 дн. 20 час.); Филинберг Ирина Николаевна (23 дн.)	0	0	0	420	388	в курсе нет ни одного файла
Плавание. Очное. Бакалавриат *	Васильев Александр Сергеевич (65 дн. 2 час.); Верещагина Людмила Григорьевна (70 дн. 23 час.); Ерохина Наталья Никифоровна (70 дн. 2 час.); Сакин Николай Александрович (1 день 22 час.); Шенцов Андрей Николаевич (69 дн. 2 час.)	0	0	0	628	406	замечаний не обнаружено
Баскетбол. Очное. Бакалавриат *	Масляничин Антон Сергеевич (61 дн. 2 час.); Масляничин Сергей Владимирович (62 дн. 15 час.); Тимошина Марина Борисовна (49 дн. 12 час.); Хомичев Ян Юрьевич (Никогда); Чернов Илья Павлович (1 день 21 час.)	0	0	0	201	133	замечаний не обнаружено
Пулевая стрельба. Очное. Бакалавриат *	Хренова Екатерина Михайловна (15 час. 24 мин.)	0	0	0	204	81	замечаний не обнаружено
Волейбол. Очное. Бакалавриат *	Амелин Виктор Дмитриевич (50 дн. 22 час.); Григорян Елена Евгеньевна (61 дн. 3 час.)	0	0	0	191	102	замечаний не обнаружено

Рисунок 3 – Результат экспорта отчета в Microsoft Excel

Экспортированные данные в дальнейшем можно подвергнуть дополнительной обработке в Microsoft Excel, после чего уже отправить на печать.

Таким образом, был разработан отчет в виде модуля (плагина) к системе управления обучением Moodle, который значительно упростил работу администраторам системы при осуществлении мониторинга электронных курсов. Отчет предоставляет сведения по курсам выбранной категории, такие как: список преподавателей со временем последнего входа в курс, обнаруженные замечания по курсу, общая завершенность курса и другое. Доступ к отчету может быть предоставлен различным категориям пользователей, например, заведующим кафедрами или директорам институтов. Кроме того отчет поддерживает возможность экспорта данных в табличный процессор Microsoft Excel.

Библиографический список

1. ФГОС ВО по направлениям бакалавриата [Электронный ресурс] – Режим доступа – [http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4] – Загл. с экрана (дата обращения: 07.09.2017).
2. 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.
3. MoodleDocs [Электронный ресурс] – Режим доступа – [https://docs.moodle.org/dev/Main_Page] – Загл. с экрана (дата обращения: 07.09.2017).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ MOODLE ДЛЯ СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ФГОС ВО 3+ НА ПРИМЕРЕ СИБГИУ

Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Дворянчиков М.В., Гусев М.М., Ермакова Л.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС) вуза – это интегрированная среда информационно-образовательных ресурсов (электронные библиотеки, обучающие системы и программы), программно-технических средств, правил ее поддержки, администрирования и использования, которая обеспечивает едиными технологическими средствами информационную поддержку и организацию учебного процесса, научных исследований, а также профессиональное консультирование обучающихся в вузе. В федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования третьего поколения (ФГОС ВО 3+) выдвигут ряд требований к ЭИОС вуза [1], согласно которым она должна обеспечивать:

- фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения программы бакалавриата;
- проведение всех видов занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;
- формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение работ обучающегося, рецензий и оценок на эти работы со стороны любых участников образовательного процесса;
- взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействия посредством сети «Интернет».

В Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) в качестве базовой составляющей ЭИОС, обеспечивающей реализацию учебного процесса, используется система управления обучением Moodle [2]. Данная система распространяется под лицензией GNU GPL, что позволяет сторонним разработчикам вносить изменения в систему в соответствии с требованиями конкретной образовательной организации. Архитектурно Moodle представлена как модульная система, т.е. предполагает наличие большого количества дополнений вокруг ядра системы. Примерами таких дополнений являются блоки, отчеты, модули элементов курса, плагины предотвращения плагиата и многое другое.

В целом система Moodle соответствует большинству требований, предъявляемых в государственных стандартах к ЭИОС вуза. Посредством модулей курса, таких как задания и тесты, может осуществляться фиксация хода образовательного процесса. Форумы и чаты, а также система личных сообщений Moodle позволяют организовывать синхронное и асинхронное взаимодействие между обучающимся и преподавателем через сеть «Интернет».

В то же время следует заметить, что для соответствия требованиям ФГОС ВО 3+ системе не хватает наличия электронного портфолио обучающегося. Также при развитии информационных технологий и доступности информации в сети интернет, становится актуальным вопрос контроля текстовых заимствований в работах обучающихся. В Moodle обучающиеся сдают выполненные задания на проверку преподавателю, поэтому возникает необходимость разработки модуля контроля текстовых заимствований в данной системе. Кроме того система Moodle в первую очередь нацелена на процесс обучения, а не на процесс управления обучением. В ней нет удобных средств контроля работы обучающихся и преподавателей, позволяющих оценить количество сданных работ студентами, количество проверенных работ преподавателем, отследить замечания по наполнению электронных курсов и многое другое. Соответственно, становится актуальным вопрос по разработке дополнительных модулей

к системе Moodle, позволяющих упростить работу обучающихся, преподавателей, а также администраторов системы.

На основе вышесказанного в СибГИУ был разработан ряд дополнений к системе управления обучением Moodle: информационная система «Портфолио СибГИУ» [3]; модуль формирования отзыва «Отзыв в виде документа»; модуль контроля текстовых заимствований «СибГИУ РУКОНТЕКСТ» [4]; отчет «Работа в курсе» [5]; отчет «Мониторинг курсов»; блок «Управление курсами».

При разработке модулей использовался интерфейс программирования приложений API Moodle, который предоставляет программисту множество полезных функций, в том числе работу с базами данных, формами, файлами, правами доступа и многим другим.

Информационная система «Портфолио СибГИУ» предназначена для накопления, систематизации и учета комплекта электронных документов, характеризующих индивидуальные достижения обучающегося по различным направлениям деятельности. Ключевой особенностью системы является автоматический импорт всех выполненных работ обучающегося из электронных курсов системы Moodle, а также оценок и рецензий преподавателей на эти работы в специальную категорию портфолио «Учебная деятельность по основной образовательной программе», что позволило упростить работу и студентов, и преподавателей. Также была определена роль модератора, который занимается контролем наполнения портфолио обучающимися. Кроме того, информационная система «Портфолио СибГИУ» позволяет формировать отчеты о деятельности модераторов и обучающихся с возможностью выгрузки этих сведений в Microsoft Excel.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО 3+ в студенческом электронном портфолио должна сохраняться рецензия (отзыв) преподавателя на выполненную работу обучающегося. По умолчанию в системе Moodle предусмотрено два способа размещения отзыва преподавателя на работу студента: отзыв в виде комментария и отзыв в виде файла. Отзыв в виде комментария предполагает написание простого комментария на форме оценивания работы обучающегося. Отзыв в виде файла предполагает, что преподаватель прикрепляет файл с рецензией на выполненное задание студента. В СибГИУ была разработана форма отзыва, содержащая такие поля, как названия дисциплины и задания, Ф.И.О. обучающегося и преподавателя, академическую группу студента, оценку, а также текст отзыва. Для упрощения работы преподавателя, чтобы не заполнять все поля формы вручную, был разработан дополнительный модуль к системе Moodle, который автоматически заполняет часть полей отзыва на работу обучающегося. Преподавателю же достаточно написать только текст отзыва. В дальнейшем такой отзыв (рисунок 1) автоматически сохраняется в электронном портфолио студента.

ОТЗЫВ НА ЗАДАНИЕ «РГР ВЕКТОРНАЯ АЛГЕБРА ДЛЯ СПО» ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕМАТИКА»	
Ф.И.О обучающегося	Булгакова Наталья Геннадьевна
Группа	ЭДСПО-15
Преподаватель	Рацкий Александр Денисович
Оценка	Зачтено
ОТЗЫВ	
<p>Это пример автоматически формируемого файла-отзыва на выполненное задание обучающегося. Можно использовать стилевое оформление текста: <i>курсив</i>, жирный, <u>подчеркивание</u>, зачеркивание, подстрочный индекс, надстрочный индекс и другое. Поддерживаются перечисления:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. первый; 2. второй; 3. третий. <p>Есть возможность использовать математические формулы:</p> $\sum 1, 2 + \{5\} * 10$ <p>В случае необходимости вставки в отзыв какого-либо изображения, следует использовать сторонние ресурсы для размещения картинок и ссылаться на них посредством гиперссылок.</p> <p style="text-align: right;"><i>Дата отзыва: 2 сен 2016</i></p>	

Название дисциплины можно скорректировать в настройках отзыва

Данный отзыв является HTML-файлом и открывается в браузере

Рисунок 1 – Пример формируемого файла с отзывом

С 2015 года СибГИУ использовал систему «Антиплагиат.Вуз» для проверки студенческих работ на текстовые заимствования. При этом механизм проверки работ обучающихся был организован следующим образом: преподаватель загружал файл с работой через web-интерфейс системы, после чего ждал результатов проверки и вручную формировал отзыв (рецензию) с указанием источников заимствования в работе обучающегося. Очевидно, такой подход занимал много времени. Более того, с начала 2016-2017 учебного года обязательной проверке на заимствование стали подлежать не только выпускные квалификационные работы, но и рефераты, эссе и курсовые работы, что существенно увеличило нагрузку на преподавателей при работе с системой «Антиплагиат.Вуз». Поэтому было принято решение перехода на альтернативную систему контроля текстовых заимствований «РУКОНТЕКСТ», а также разработки плагина, который позволит автоматизировать процесс загрузки файлов и получения результатов из системы контроля текстовых заимствований. Выбор системы «РУКОНТЕКСТ» объясняется тем, что она имеет не только web-интерфейс для загрузки работ пользователями вручную, но и позволяет с помощью программного интерфейса приложения (API) загружать на сервер работы, закодированные в JSON-строку, и получать результаты проверки в таком же формате. В результате был разработан модуль, который автоматически отправлял загружаемые работы обучающихся на сервер системы «РУКОНТЕКСТ», получал и сохранял результат проверки в системе Moodle, после чего отображал его на странице задания, чем существенно снизил нагрузку на преподавателей (рисунок 2).

Выбрать	Фамилия / Имя	Статус	Оценка	Редактировать	Ответ в виде файла	Отзыв в виде документа	Итоговая оценка
<input type="checkbox"/>	Шлянин Сергей Алексеевич	Ответы для оценки Срок выполнения закончился 5 дн. 13 час. назад Оценено	Оценка 5	Редактировать	Курсовой проект.docx Оригинальность: 98.41% Отчет	Отзыв_Шлянин.html	5
<input type="checkbox"/>	Раецкий Александр Денисович	Ответы для оценки Оценено	Оценка 5	Редактировать	Курсовой проект.docx Оригинальность: 96.79% Отчет	Отзыв_Раецкий.html	5
<input type="checkbox"/>	Дворянчиков Марк Владиславович	Ответы для оценки Срок выполнения закончился 3 дн. 18 час. назад Оценено	Оценка 5	Редактировать	Курсовой проект.docx Оригинальность: 98.41% Отчет	Отзыв_Дворянчиков.html	5
<input type="checkbox"/>	Рындовская Елизавета Вадимовна	Ответы для оценки Срок выполнения закончился 22 дн. 16 час. назад Оценено	Оценка 5	Редактировать	КП Рындовская (2).docx Оригинальность: 78.08% Отчет	Отзыв_Рындовская.html	5
<input type="checkbox"/>	Неретин Артем Андреевич	Ответы для оценки Срок выполнения закончился 3 дн. 18 час. назад Оценено	Оценка 5	Редактировать	Kursovoy_proekt.docx Оригинальность: 98.41% Отчет	Отзыв_Неретин.html	5

Рисунок 2 – Страница просмотра работ обучающихся

Для контроля работы студентов и преподавателей в системе Moodle в СибГИУ были разработаны два отчета. Первый отчет называется «Работа в курсе» и позволяет увидеть такие сведения по отдельному электронному курсу, как список преподавателей курса, количество выполненных обучающимися работ и тестов, количество оцененных работ преподавателями, а также общую эффективность работы по курсу. Второй отчет «Мониторинг курсов» позволяет выводить такие сведения уже по категориям курсов системы Moodle. Кроме того, данный отчет отслеживает некоторые замечания по курсам, среди которых: отсутствие преподавателей в курсе; студенты не подписаны на электронный курс; в курсе нет ни одного файла; в курсе нет ни одного задания или теста; в курсе есть не оцененные работы.

Также есть возможность выгрузки результатов мониторинга в табличный процессор

Microsoft Excel. Отчет позволил значительно ускорить процесс мониторинга курсов администраторами системы Moodle.

Еще одним дополнительным модулем к системе управления обучением Moodle, разработанным в СибГИУ, является блок «Управление курсами». Предпосылкой к созданию данного блока стали просьбы преподавателей, а также обращения обучающихся на технический форум с пожеланием создать модуль, который позволил бы как-то систематизировать электронные курсы в системе Moodle. В результате было разработано решение, которое позволило всем пользователям системы распределять курсы по категориям на свое усмотрение. При этом студенты и преподаватели могут создавать произвольное число категорий, и один курс может находиться в нескольких.

Подводя итоги, можно сказать, что система управления обучением Moodle предлагает достаточно широкий спектр возможностей для организации процесса обучения, и в целом соответствует требованиям ФГОС ВО 3+. Однако при этом требуется ее доработка, как под требования ФГОС ВО 3+, так и под нужды конкретной образовательной организации. Поскольку система распространяется под лицензией GNU GPL, в нее можно вносить различные изменения и улучшения, которые могут упростить работу обучающихся, преподавателей, а также администраторов Moodle.

Библиографический список

1. ФГОС ВО по направлениям бакалавриата [Электронный ресурс] – Режим доступа – [<http://fgosvo.ru/fgosvo/92/91/4>] – Загл. с экрана (дата обращения: 03.09.2017).
2. 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.
3. Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А. Разработка плагина «Портфолио СибГИУ» для системы управления обучением «Moodle» // Кибернетика и программирование. – 2016. - № 2. - С.52-61. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.2.18016. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_18016.html
4. Разработка расширения системы Moodle для автоматического контроля текстовых заимствований системой «РУКОНТЕКСТ» / Шлянин С.А., Раецкий А.Д., Ермакова Л.А. // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2017) с международным участием (Екатеринбург, 11–12 мая 2017 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2017. – С. 280-283.
5. Разработка отчета к системе MOODLE для организации контроля работы участников образовательного процесса / Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А. // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2017) с международным участием (Екатеринбург, 11–12 мая 2017 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2017. – С. 244-248.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ MOODLE

Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Дворянчиков М.В., Гусев М.М., Ермакова Л.А.

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

Сегодня электронное обучение и дистанционные образовательные технологии получают все большее распространение в России. Отчасти это обусловлено вступлением в силу федеральных государственных стандартов высшего образования третьего поколения (ФГОС ВО

3+), в которых содержится ряд требований к электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) вузов. Зачастую в качестве базовой составляющей ЭИОС, обеспечивающей реализацию учебного процесса, является система управления обучением Moodle.

Moodle является свободно распространяемой системой с лицензией GNU GPL. Наличие данной лицензии позволяет сторонним разработчикам вносить изменения в исходный код системы для доработки под нужды конкретной образовательной организации. В тоже время Moodle – это модульная объектно-ориентированная среда, с поддержкой большого количества различных модулей (плагинов), установленных поверх ядра системы. На рисунке 1 представлен фрагмент структуры системы управления обучением Moodle.

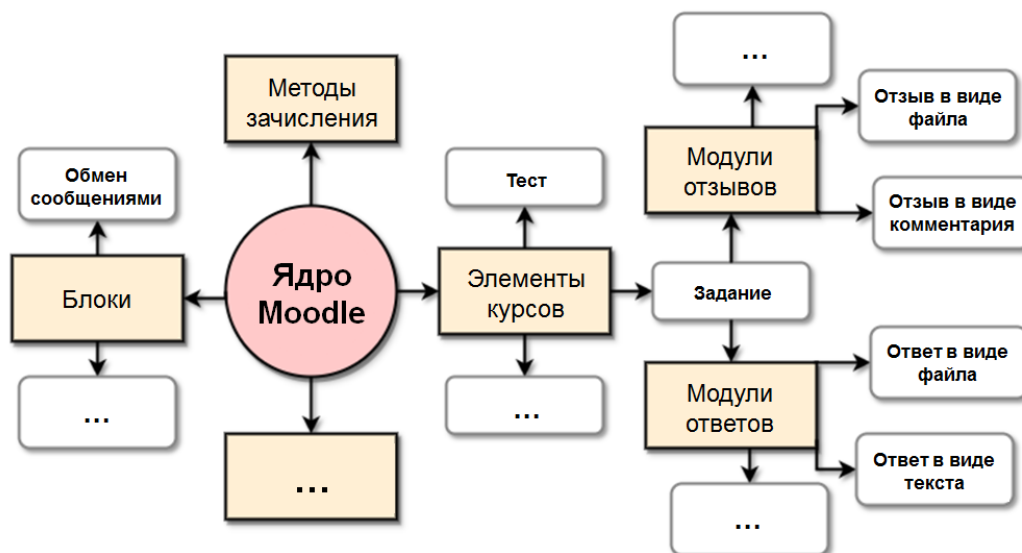


Рисунок 1 – Фрагмент структуры системы управления обучением Moodle

В то же время следует заметить, что Moodle является в первую очередь системой, нацеленной на процесс обучения, а не на процесс управления обучением. В связи с этим, зачастую требуется доработка функционала данной системы.

В Сибирском государственном индустриальном университете для реализации учебного процесса используется система управления обучением Moodle [1]. При этом в университете используется подход, согласно которому на каждый год для обучающихся создаются индивидуальные электронные курсы. По прошествии учебного года курс перемещается в архив и скрывается от студентов. Однако при этом возможны ситуации, когда у некоторых обучающихся может быть академическая задолженность по дисциплинам, в результате такие электронные курсы остаются открытыми для них. Это, в свою очередь, вызывает путаницу среди других студентов из-за большого числа открытых электронных курсов. Кроме того, это также вызывает проблемы и у преподавателей. В результате пользователи начали обращаться на технический форум с вопросами сокрытия уже пройденных курсов. Ключевая проблема заключается в том, что в Moodle нет какого-либо механизма, который бы позволил выполнить систематизацию электронных курсов у пользователей системы. Поэтому было принято решение разработать собственный модуль к данной системе, позволяющий классифицировать курсы по категориям, создаваемым пользователями самостоятельно.

В качестве типа разрабатываемого плагина был выбран «блок», который по сути является встраиваемым виджетом на страницы Moodle. Модуль должен поддерживать следующий функционал:

- создание произвольных категорий пользователями для размещения в них электронных курсов;
- удаление категорий электронных курсов;
- помещение курса из доступных пользователю в выбранную категорию;

– удаление курса из категории.

При разработке плагина использовался интерфейс программирования приложений API Moodle [2], который поддерживает функции по взаимодействию с базой данных, работу с файлами, формами и многим другим.

Разработанный блок доступен авторизованным пользователям с главной страницы системы управления обучением Moodle. Его содержимое представлено на рисунке 2.

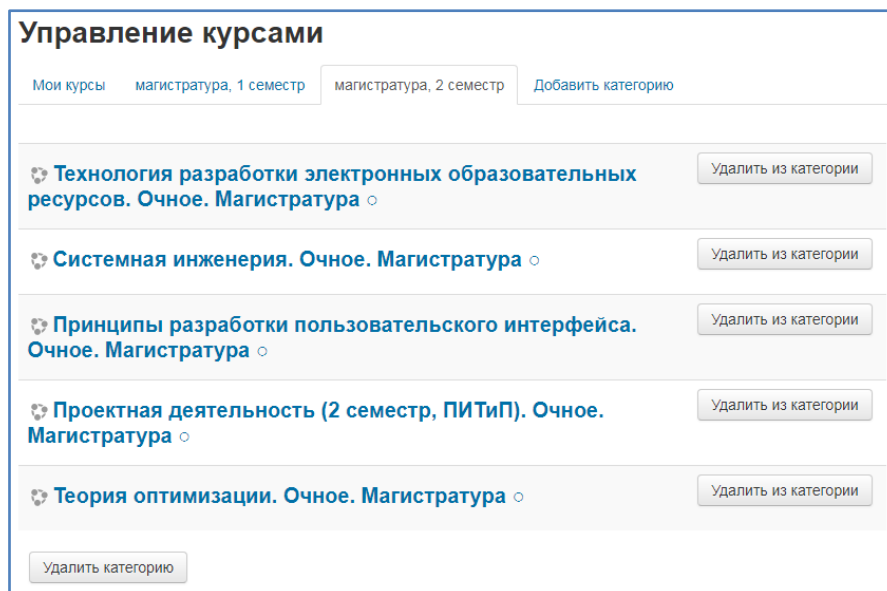


Рисунок 2 – Внешний вид содержимого блока «Управление курсами»

В результате все пользователи системы Moodle получили возможность распределять электронные курсы по категориям на свое усмотрение. При этом они могут создавать произвольное число категорий, и один курс может находиться в нескольких.

Библиографический список

1. 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.
2. MoodleDocs [Электронный ресурс] – Режим доступа – [https://docs.moodle.org/dev/Main_Page] – Загл. с экрана (дата обращения: 22.08.2017).

О ПОСТРОЕНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ АБИТУРИЕНТА

Бабичева Н.Б.

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

Довузовская жизнь абитуриента насыщена мероприятиями, которые в равной степени раскрывают все способности и особенности его личности (познавательные, научно-исследовательские, творческие, спортивные). К таким мероприятиям относятся, например, олимпиады, творческие конкурсы, научно-практические конференции школьников, спортивные соревнования и многое другое. Если при зачислении в вуз учитывать наиболее значимые для направления подготовки мероприятия, то увеличивается вероятность успешного освоения поступающим программ высшего профессионального образования, участия в научно-исследовательских проектах и раскрытия творческого и спортивного потенциала [1].

Учесть все довузовские достижения абитуриента позволяет рейтинговая оценка достижений поступающего. Рейтинговую оценку можно построить на основе балльной методики, или же с использованием весовых коэффициентов или нечеткой логики. Любой метод расчета рейтинга, где к работе привлекаются экспертные комиссии, обладает «слабым звеном» – часть значений устанавливается экспертами, что требует участия экспертов с высокой подготовкой в области оценки абитуриентов и проведения исследований компетентности и согласованности мнений экспертов.

Оценка способностей абитуриента при помощи балльного рейтинга проста в понимании, то есть имеется четкая градация баллов и четкие требования соответствия этой градации. Также к достоинству этого метода можно отнести простоту реализации в программном коде. Однако у этого метода имеется ряд недостатков: рейтинг можно изменять только в рамках всех специальностей; удаление или добавление какой-либо категории рейтинга влечет за собой необходимость перераспределения баллов для всего рейтинга в целом; проблематично выражение символьных градаций оценки (хорошо, средне, плохо) в численных значениях.

Метод оценки достижений абитуриента с использованием весовых коэффициентов обладает адаптивной структурой, позволяет учесть личностные характеристики абитуриентов, своевременно актуализировать значения коэффициентов. Но наличие большого числа весовых коэффициентов приводит к тому, что процесс корректировки их значений в программной реализации метода расчета рейтинга займет продолжительное время. Также у экспертной комиссии могут возникнуть проблемы с восприятием большого количества весовых коэффициентов, выраженных в числовой форме.

Расчет рейтинговой оценки абитуриента с использованием нечеткой логики позволяет оперировать нечеткими входными данными, использовать нечеткую формализацию критериев оценки и сравнения. Лингвистические переменные в целом легче воспринимаются ответственным персоналом, так как они основаны на естественном языке человеческого общения. Впрочем, имеется ряд недостатков метода: использование нечеткой логики может привести к снижению точности вычислений, что связано со сложностью перевода лингвистических переменных в числовую форму; входные и выходные величины, функции принадлежности, используемые в методике, достаточно субъективны.

Увеличить гибкость методики расчета рейтинга можно путем комбинирования двух подходов: с использованием нечеткой логики и с использованием весовых коэффициентов [2]. Комбинированная методика позволит определять важность коэффициентов в терминах естественного языка, что удобно для экспертной комиссии. При этом весовые коэффициенты жестко заданы и легко формализуемы в программном коде.

При использовании метода с весовыми коэффициентами основная проблема возникает в случае необходимости изменения нормирующих показателей. Например, нормирующее значение для локального критерия «Участие в научно-практических конференциях, проводимых научными школами СибГИУ» принимается равным максимальному значению из количества конференций, в которых приняли участие абитуриенты. Если до определенного момента приёмной кампании соответствующий нормирующий показатель был равен 10, а позже появился абитуриент, у которого имеются документы об участии в 11 конференциях, то значения нормирующей величины должно быть изменено. В результате потребуется пересчёт рейтинга всех абитуриентов, подавших документы ранее. Во избежание подобной ситуации вводится свёртка количества вхождений довузовского события в один локальный критерий по важности каждого случая, и учитывается только наиболее важное. Иными словами, такой подход избавит от необходимости нормировать значения для категорий с несколькими возможными вхождениями, что, в свою очередь, приведёт к отсутствию необходимости пересчёта рейтинга, если нормирующий коэффициент изменится.

Общая схема взаимодействия экспертов при использовании комбинированной методики представлена на рисунке 1.

Для определения весовых коэффициентов $c_{k,j}$ создается экспертная комиссия для

каждого направления подготовки, в которую входят директор института, заведующий выпускающей кафедрой, ученый секретарь и несколько представителей выпускающей кафедры. Они опрашиваются по каждому локальному критерию. Далее экспертная комиссия, используя лингвистические переменные, расставляет коэффициенты важности.

Данная процедура может быть оформлена различными методами, например, таблицей (таблица 1).

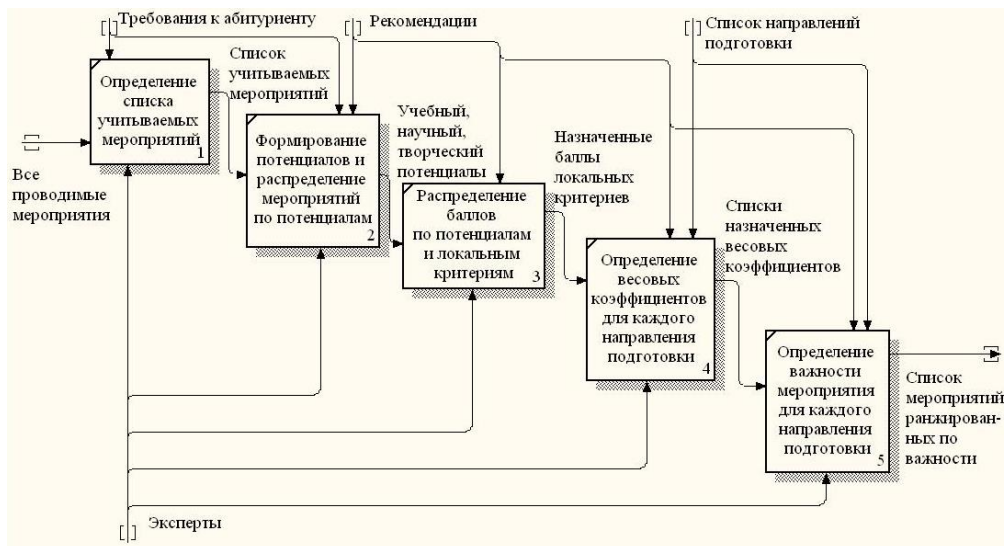


Рисунок 1 - Схема взаимодействия экспертов (стандарт EDEF0)

Таблица 1 – Пример оформления процедуры распределения коэффициентов важности

Наименование локального критерия					
	Не важно	Почти важно	Более-меее	Весьма важно	Очень важно
1 Участие в олимпиаде «Интеллектуальный марафон»				✓	
2 Участие в спортивных мероприятиях		✓			
3 Участие в научно-практических конференциях научных школ СибГИУ				✓	
4 Наличие опубликованных научных работ					✓

Составление таких списков оправдано для каждого направления подготовки в отдельности, так как это позволит адаптировать рейтинг под нужды вуза для каждого направления.

Поэтому необходимо ввести переменную, описывающую важность каждого критерия рейтинга, с возможностью изменения для каждой специальности в отдельности. Для этих целей воспользуемся лингвистической переменной, построенной по правилам нечеткой логики с П-образной функцией принадлежности:

$$X = \text{' важность критерия' }; X(T, U, G, \mu),$$

где T – терм-множество; $T = \{\text{важно, неопределено, не важно}\}$;

U – универсальное множество; $U = [\text{важно, не важно}]$;

G – множество квантификаторов, например, $G = \{\text{очень, более – менее, не очень}\}$;

μ – семантические правила, которые можно описать функциями принадлежности.

Для описания важности локальных критериев использована в качестве основы характеристическая функция нечёткой истинности, предложенная Лотфи Заде, видоизмененная для определения степени важности:

$$\mu^{\text{важно}}(u) = \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq a; \\ 2 \cdot \left(\frac{u-a}{1-a}\right)^2, & a \leq u \leq \frac{a+1}{2}; \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{u-1}{1-a}\right)^2, & \frac{a+1}{2} \leq u \leq 1. \end{cases}$$

$$\mu^{\text{не важно}}(u) = (1 - u), u \in [0,1],$$

где $a \in [0,1]$ - параметр, определяющий носители нечётких множеств «важно» и «не важно». Для нечёткого множества «важно» носителем будет интервал $(a, 1]$, а для нечеткого множества «не важно» - $[0, a)$. Установим вероятность вхождения во множество: $a=0,6$. Добавим квантификаторы «почти», «более-менее». Функции принадлежности для этих квантификаторов будут выглядеть следующим образом:

$$\mu^{\text{почти важно}}(u) = (\mu^{\text{важно}}(u))^{2,75};$$

$$\mu^{\text{более – менее важно}}(u) = (\mu^{\text{важно}}(u))^2;$$

$$\mu^{\text{почти не важно}}(u) = (\mu^{\text{не важно}}(u))^{1,25}.$$

Схема расчета рейтинга комбинированной методикой приведена на рисунке 2. На подготовительном этапе экспертная комиссия выставляет уровень важности для мероприятий довузовской подготовки, для локальных критериев определяются весовые коэффициенты из диапазона $[0, 1]$.



Рисунок 2 - Схема расчета рейтинга комбинированной методикой

где b_j – максимальное количество баллов, которое абитуриент может получить за локальный критерий;

$\mu(X_j)$ – функция принадлежности лингвистической переменной X_j , описывающей локальный критерий;

$K_j(X_j)$ – показатель, указывающий на награду абитуриента, за участие в j -том мероприятии;

$K_j^{\max}(X_j)$ – максимальное значение показателя, которое может получить абитуриент за награду в j -ом мероприятии;

c_j – весовой коэффициент, определяющий важность локального критерия для направления подготовки;

n_j – количество мероприятий локального критерия, в которых принимал участие абитуриент.

При подаче документов абитуриентом, для каждого локального критерия выбирается

только то событие из заявленных абитуриентом, которое имеет максимальную важность. После расчета всех локальных критериев (по формулам (1), (2) и (3)) производится оценивание интегральных значений потенциалов, а затем оценивается итоговый рейтинг абитуриента по формуле (4), результат которого суммируется с результатами ЕГЭ.

Положительно проявила себя комбинированная методика расчета рейтинговой оценки с использованием лингвистической переменной и весовых коэффициентов на основе балльной системы. За основу взято распределение баллов по критериям в балльной методике, затем баллы умножены на смысловое значение лингвистической переменной $\mu(X)$, таким образом будет выделено наиболее важное мероприятие из текущего локального критерия. Значение лингвистической переменной определяется экспертом. При расчете интегрального критерия потенциала значения локальных критериев домножаются на весовой коэффициент, который отражает важность локального критерия для заданной группы специальностей и конкретного направления подготовки.

Предложенная методика объединяет элементы балльного метода, метода с весовыми коэффициентами и элементы нечеткой логики, позволяет, благодаря использованию нечетких высказываний и соответствующей функции принадлежности, сократить количество весовых коэффициентов, что обеспечивает более простую интерпретацию полученных результатов рейтингового оценивания.

Библиографический список

1. Бабичева Н.Б., Ляховец М.В. Проблематика выбора специальности абитуриентами высшего учебного заведения / Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Тр. IV Всерос. научно-практической конференции. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2010. – С. 161-163.

2. Киселева Т.В., Ляховец М.В., Бабичева Н.Б. Сравнительный анализ методик расчета рейтинговой оценки // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – №3.2 (45). – с. 236-241.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПОВЕРКИ (КАЛИБРОВКИ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Голобоков М.В.¹, Данилевич С.Б.²

¹ФБУ «Новосибирский ЦСМ», г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский филиал Академии стандартизации, метрологии и сертификации (учебной)», НГТУ, г. Новосибирск, Россия

Одним из обязательных этапов обработки результатов калибровки средств измерений (СИ) является оценка неопределённости измерений. В работе рассматриваются вопросы автоматизации выполнения расчётов на примере лаборатории поверки (калибровки) стеклянных, биметаллических и манометрических термометров в диапазоне от минус 80 до 500 °С.

Лаборатория оснащена жидкостными термостатами Термотест-05-02, ТПП, калибратором температуры Элемер-КТ500М1/А; эталонными термометрами сопротивления ПТС-10 1 разряда по [1], ПТСВ-1-2 – 2 разряда, ПТСВ-3-3 – 3 разряда. Многоканальными измерителями температуры МИТ 8.10, МИТ 8.15. Обработка результатов измерений и оформление результатов поверки (калибровки) выполняется в специальном приложении, реализованном в среде OpenOffice.Calc. и успешно применяемом с 2011 г.

Необходимость оценки неопределённости измерений потребовала доработки существующего приложения, в частности:

- автоматизации выбора средств поверки (калибровки);
- идентификации способа передачи единицы величины;

- выбора алгоритма для расчёта суммарной неопределённости;
- оценки составляющих и вычисление суммарной неопределённости;
- нахождение расширенной неопределённости поверки (калибровки);
- представление результатов.

Выполнение перечисленных операций должно выполняться автоматически, без участия оператора. Блок-схема реализованного алгоритма приведена на рисунке 1.

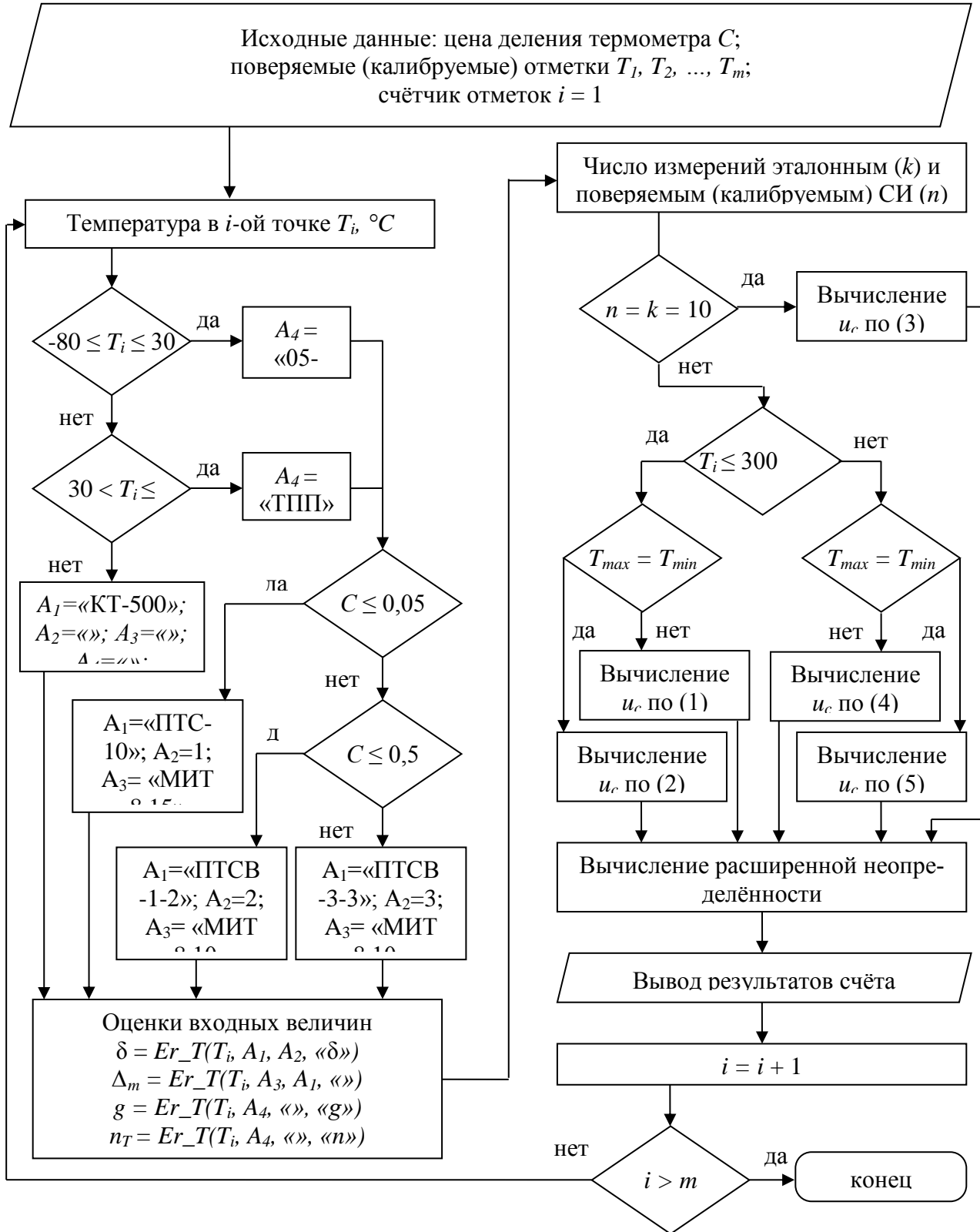


Рисунок 1 – Алгоритм оценки неопределённости измерений

Исходными данными являются: цена деления поверяемого (калибруемого) СИ, число точек контроля m и значения температуры в точках контроля T_m . В диапазоне температур от минус 80 до плюс 300 °С поверка (калибровка) выполняется в жидкостных термостатах, методом сличения с эталонным термометром. Выбор эталонного термометра осуществляется исходя из требований методик поверки (калибровки) и принципа разумной достаточности.

Для поверки (калибровки) СИ с ценой деления 0,01 – 0,05 °С применяются эталоны 1 разряда по [1]. Для поверки (калибровки) СИ с ценой деления 0,1 – 0,5 °С применяются эталоны 2 разряда, для прочих СИ – эталоны 3 разряда. Эталоны 1 разряда применяются совместно с многоканальными измерителями температуры МИТ 8.15, эталоны 2, 3 разрядов – совместно с МИТ 8.10. Поверка (калибровка) при температуре от 300 до 500 °С выполняется методом прямых измерения температуры, воспроизводимой сухоблочным калибратором Элемер-КТ500М1/А.

Дескрипторы выбранных средств поверки (калибровки) и их характеристик присваиваются вспомогательным переменным: A_1, A_2, A_3, A_4 . Вычисление погрешности измерения (воспроизведения) температуры, неравномерности распределения и нестабильности поддержания температуры, в соответствии с [2-5] выполняется функцией $Er_T(Point; Type; Accur; Name)$. Параметр $Point$ передаёт значение температуры в °С, для которой следует сделать вычисления. $Type$ – тип средства поверки (калибровки). $Accur$ – параметр точности. Для эталонного термометра указывается разряд по [1], для измерителя МИТ – тип эталонного термометра. $Name$ – имя характеристики (погрешность δ , неравномерность g , нестабильность n_T) значение которой надо вернуть.

При поверке (калибровке) технических термометров показания поверяемого (калибруемого) термометра снимают 2 – 3 раза. Суммарная стандартная неопределённость u_c вычисляется по формуле:

$$u_c = \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \frac{\Delta_m^2}{3} + \frac{(0,5g)^2}{3} + \frac{n_T^2}{3} + \frac{(T_{max} - T_{min})^2}{12}}, \quad (1)$$

или, если показания совпадают, по формуле:

$$u_c = \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \frac{\Delta_m^2}{3} + \frac{(0,5g)^2}{3} + \frac{n_T^2}{3} + \frac{D^2}{12}}, \quad (2)$$

где δ – доверительные границы погрешности измерения температуры (для доверительной вероятности 0,95) в соответствии с описанием типа эталонного термометра;

Δ_m – предел допускаемой погрешности измерения температуры измерителем МИТ;

g – неравномерность распределения температуры в рабочем объеме термостата;

n_T – нестабильность поддержания температуры в термостате;

T_{max}, T_{min} – максимальные и минимальные измеренные значения температуры;

D – дискретность снятия отсчётов (1/4 – 1/5 цены деления шкалы).

При поверке (калибровке) образцовых термометров эталонный термометр погружают на ту же глубину, что и поверяемый (калибруемый). Показания эталонного и поверяемого термометра отсчитывают не менее 10 раз. Описанный приём позволяет исключить из (1, 2) составляющие, связанные с неравномерностью распределения и нестабильностью поддержания температуры. Суммарная стандартная неопределённость u_c вычисляется по формуле:

$$u_c = \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \frac{\Delta_m^2}{3} + \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{Ti} - \Delta_{Tcp})^2}{n(n-1)}}, \quad (3)$$

где Δ_{Ti} – разность показаний эталонного и поверяемого (калибруемого) термометров в i -ой серии;

Δ_{Tcp} – средняя разность показаний эталонного и поверяемого (калибруемого) термометров.

Суммарная стандартная неопределённость поверки (калибровки) в калибраторе Элемер-КТ500М1/А вычисляется по формуле:

$$u_c = \sqrt{\frac{\delta_{KT500}^2}{4} + \frac{(T_{max} - T_{min})^2}{12}}, \quad (4)$$

или, если показания совпадают, по формуле:

$$u_c = \sqrt{\frac{\delta_{KT500}^2}{4} + \frac{D^2}{12}}, \quad (5)$$

где δ – доверительные границы погрешности воспроизведения температуры (для доверительной вероятности 0,95) в соответствии с руководством по эксплуатации калибратора.

Ни одна из составляющих (1–5) подчиняющаяся равномерному закону распределения не является доминирующей. Значение расширенной неопределённости, вычисляется путём умножения стандартной неопределённости на коэффициент охвата = 2. Значения расширенной неопределённости для каждой поверяемой (калибруемой) отметки приводится в протоколе поверки (калибровке), на оборотной стороне свидетельства о поверке, сертификата о калибровке.

Описанная процедура повторяется для всех точек поверки (калибровки). Совокупность использованных средств поверки (калибровки) автоматически отображается в соответствующих полях заполняемых документов (протокол, свидетельство о поверке, сертификат о калибровке, извещение о непригодности)

Внедрение описанного алгоритма позволило:

- унифицировать обработку результатов поверки и калибровки СИ;
- не допустить увеличения трудозатрат при внедрении новых требований;
- обеспечить соответствие при прохождении процедуры подтверждения компетентности на право выполнения калибровочных работ в части требований [6] по наличию практических навыков по оценке неопределённости измерений при калибровке.

Библиографический список

1. ГОСТ 8.558-2009 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры, М.: Издательство Стандартиформ, 2012. – 9 с.
2. Термостаты переливные прецизионные ТПП-1. Руководство по эксплуатации ЕМКТ 151.0000.00 РЭ. М.: ООО «ИзТех», 2007. – 17 с.
3. Термостат жидкостный низкотемпературный «ТЕРМОТЕСТ-05-02». Руководство по эксплуатации ТКЛШ 2.998.512 РЭ. Томск: ООО «Термэкс», 2015. – 17 с.
4. Калибратор температуры «Элемер-КТ-500/М1», «Элемер-КТ-500/М2», «Элемер-КТ-500L» Паспорт НКГЖ.408749.001 ПС. М.: ООО «Элемер», 2010. – 23 с.
5. Измерители температуры многоканальные прецизионные МИТ 8. Руководство по эксплуатации РЭ 4211-102-56835627-10. М.: ООО «ИзТех», 2010. – 40 с.
6. Руководство для заявителей и аккредитованных лиц по оформлению областей аккредитации калибровочных лабораторий с учётом неопределённости. http://fsa.gov.ru/news/important/show_id/1812 (дата обращения 12.06.2017 г).

ЛАБОРАТОРНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Золин И.А., Андрианов О.Н., Золин К.А.

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

Температура является одной из самых распространенных физических величин, которые измеряются в промышленности. Реальная погрешность измерительных систем существенно зависит от многочисленных факторов, включая функциональные свойства объектов: нестационарность, нелинейность, распределенность измеряемой переменной в пространстве. Поэтому повышение точности и достоверности измерений связано с разработкой и исследованием новых алгоритмов контроля.

В данной работе рассматривается комплекс, использующий современные технические средства контроля температуры, который предназначен для выполнения лабораторных и практических работ по дисциплинам: метрология, стандартизация и сертификация, системный анализ, методы изобретательского творчества, программирование и алгоритмизация, теория автоматического управления, моделирование систем и процессов, средства автоматизации и управления, технические измерения и приборы, автоматизация технологических процессов и производств, проектирование автоматизированных систем, научно-исследовательская работа.

Комплекс представляет собой физическую модель замкнутой системы регулирования температуры в нагревательной камере. Техническая структура комплекса представлена на рисунке 1.

Модель внутреннего пространства нагревательной печи представляет собой коробку из пластика, внутри которой находится нагревательный элемент. На задней стенке коробки установлен вентилятор, с помощью которого генерируются контролируемые возмущения.

В качестве нагревательного элемента выбран резистор SQP 20W – постоянный проволочный керамический цементированный, с номинальным сопротивлением 10 Ом, рассеиваемой мощностью – 20 Вт. Резистор представляет собой металлическую спираль, зацементированную в керамический корпус. В связи с тем, что расстояния от стенок резистора до спирали в каждой точке различно, резистор будет прогреваться неравномерно, что позволяет характеризовать его как объект с распределенным параметром.

Измерительные приборы служат, как известно, для измерения изменяющихся во времени (переменных) величин и представляют собой материальные системы, обладающие различными инерционными свойствами (механическими, тепловыми и др.). Инерционность приборов при переменном режиме работы приводит к запаздыванию, т. е. к отставанию показаний от изменения измеряемой величины.

Продолжительность запаздывания показаний зависит в основном от принципа действия и устройства измерительного прибора. Она определяется инерцией подвижной части прибора, теплоемкостью и теплопроводностью термочувствительного элемента, и способом его установки, длиной и диаметром соединительных трубок и пр.

Изменение показаний прибора во времени под влиянием специального изменения измеряемой величины называется динамической характеристикой измерительного прибора. Вид динамической характеристики определяется характером специального изменения (импульсного, ступенчатого) измеряемой величины и конструкцией измерительного прибора. Динамическая характеристика приборов в большинстве случаев находится опытным путем [1].

Напряжение на резистор R1 подается в виде ШИМ-сигнала. Значения температуры одновременно фиксируются термопарой и цифровым датчиком ЦД.

Результаты эксперимента по нагреву резистора с 36 до 45 градусов Цельсия представлены на рисунке 2.

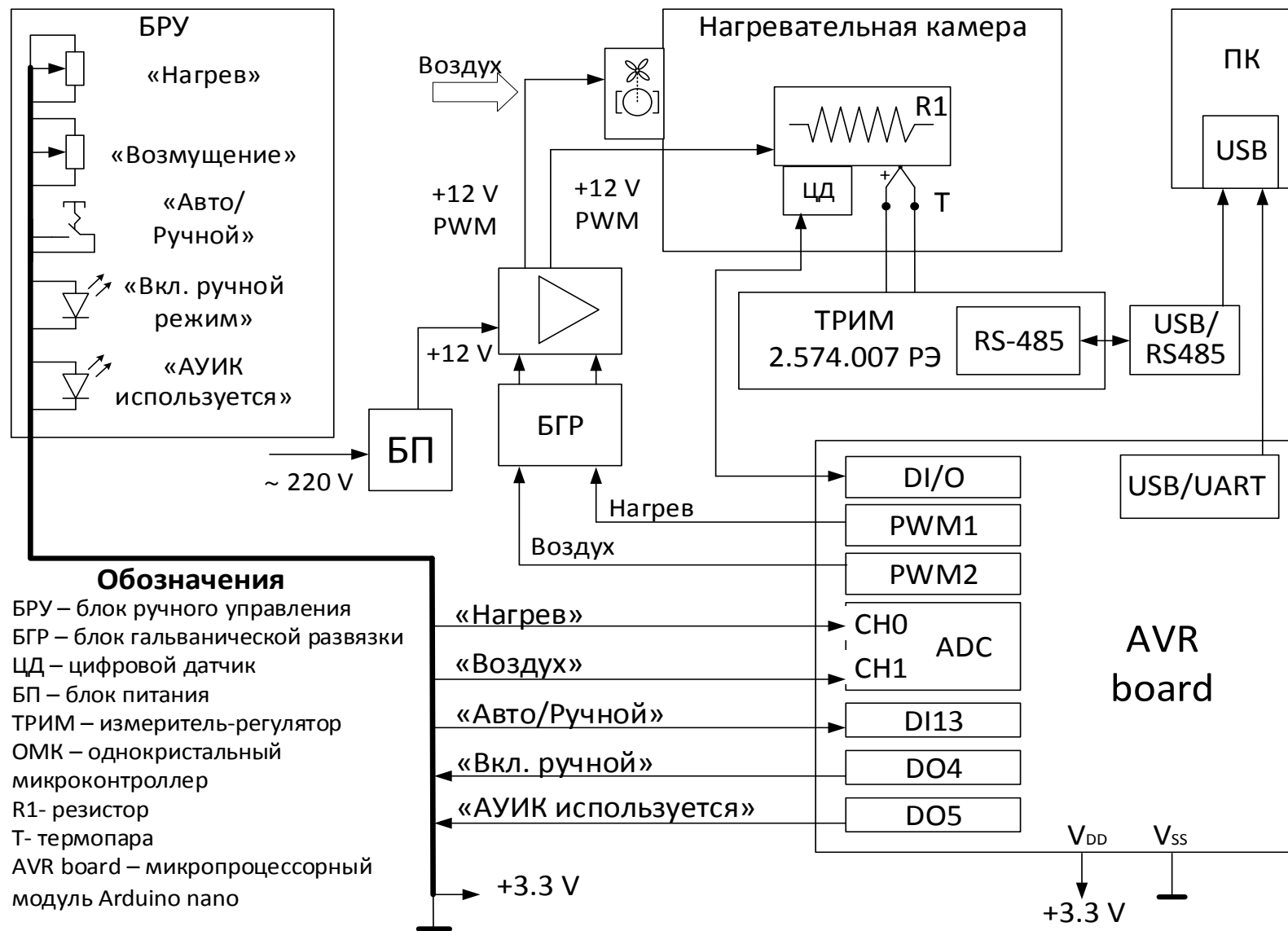
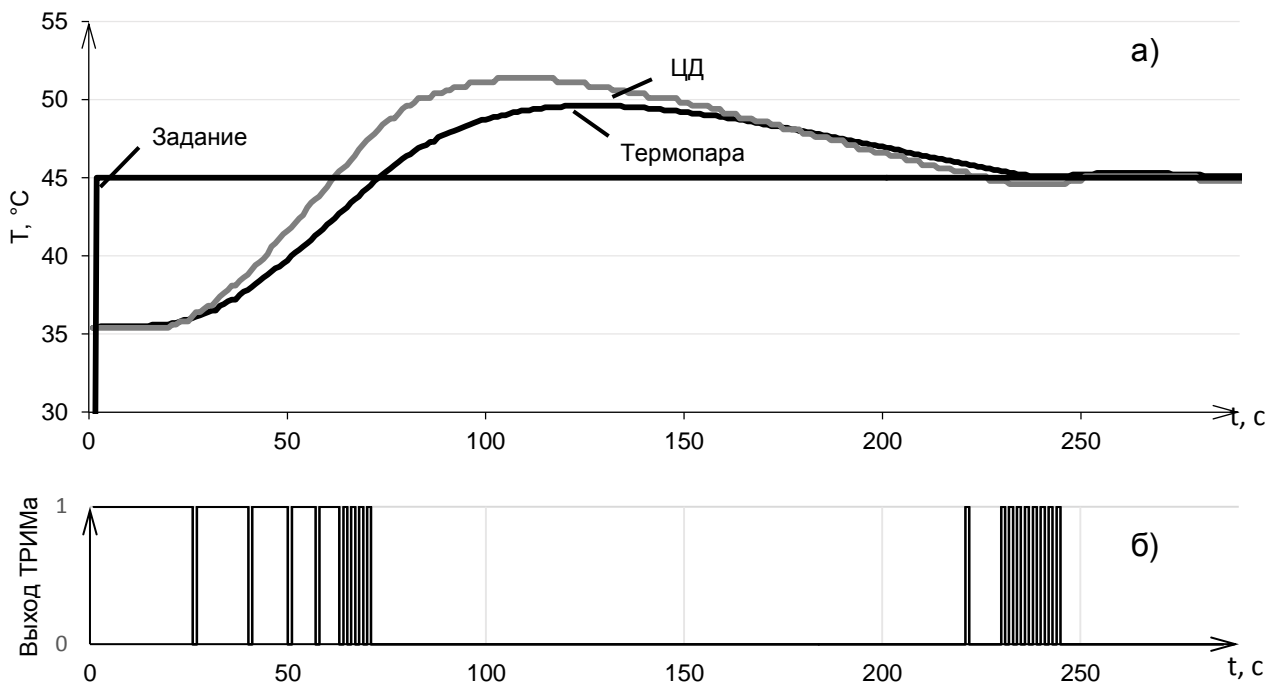


Рисунок 1 – Техническая структура лабораторной микропроцессорной системы

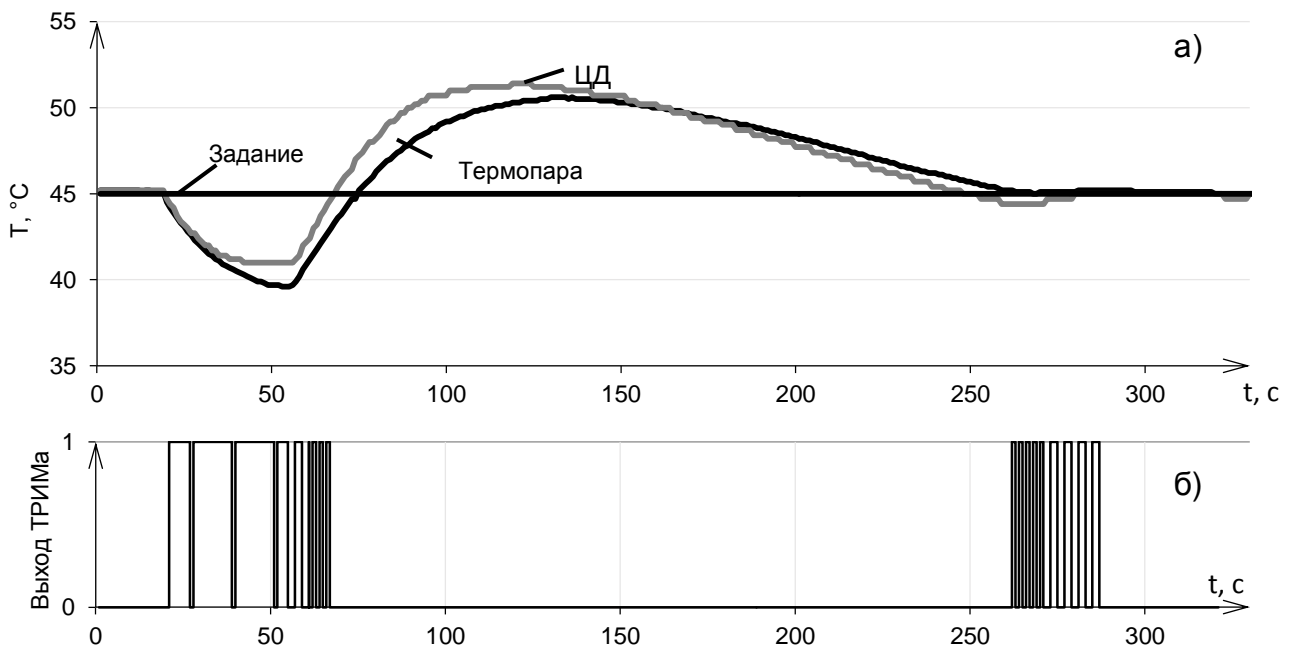


а) – изменение управляемых переменных;
 б) – управляющее воздействие регулятора ТРИМ

Рисунок 2 – Переходный процесс в САР при изменении задания

Из графика видно, что цифровой датчик обладает меньшим динамическим запаздыванием. На рисунке 2,а представлен выработанный терморегулятором ТРИМ ШИМ-сигнал.

Результат эксперимента по подаче возмущающего воздействия, при установившемся состоянии температуры резистора представлен на рисунке 3. Начало подачи возмущающего воздействия - через 20 секунд от начала эксперимента, время окончания подачи возмущающего воздействия - 60 секунд от начала эксперимента.



а) – изменение управляемых переменных;
 б) - управляющее воздействие регулятора ТРИМ

Рисунок 3 – Переходный процесс в САР при нанесении возмущающего воздействия

Планируемое возмущающее воздействие на практике влияет не так как планировалось, поток воздуха комнатной температуры обдувает датчики, тем самым их охлаждая, а резистор, прогретый внутри, почти не остывает, в итоге при выключении вентилятора оказывается, что резистор перегрет на 5-15 градусов, и чем выше задание, тем выше перегрев при возмущении. В связи с полученными результатами появляется новая задача: создание специальных средств для подавления возмущений, или разработка специальных алгоритмов регулирования.

Данная установка позволяет решать следующие задачи:

1. Исследование инерционности датчиков
2. Регистрация возмущений для нескольких режимов работы генератора возмущений.
3. Снятие «кривой разгона», построение модели ОУ и определения его динамических параметров.
4. Определение параметров кривой разгона.
5. Регистрация процесса регулирования и работы САР при изменении задания.
6. Определение статистических характеристик (среднеквадратического отклонения, дисперсия, гистограммы) контролируемого возмущения, для различных вариантов генерирования.
7. Определение статистических характеристик выходной переменной действующей САР.
8. Определение эффектов возмущающих воздействий расчетным путем (через модель) по экспериментальным данным работы САР.
9. Исследование влияния настроек регулятора, на качество регулирования.
10. Реализация алгоритмов регулирования на цифровом регуляторе с помощью разных вариантов замены непрерывного оператора дифференцирования.
11. Применение цифровых корректирующих фильтров для компенсации инерционности измерительных преобразователей и исследование влияния их структуры и настроек на качество регулирования.
12. Получение в режиме реального времени значений регулируемой величины, как натурального объекта, так и его пересчетной модели.
13. Испытание новых алгоритмов регулирования.

Библиографический список

1. В.И. Белозеров. Метрология, стандартизация, сертификация: [Курс лекций] / Физико-энергетический факультет. – Обнинск: ОГТУ – 2006. – 121 с.
2. Температура: [Электронный ресурс]: Википедия свободная энциклопедия – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Температура>.
3. Измерители-регуляторы малогабаритные ТРИМ. Протокол обмена [Текст]/ ООО «Теплоприбор-Юнит».- Челябинск: ООО «Теплоприбор-Юнит». – 2007. – 24 с.

ПРЕОДОЛЕНИЕ ОБУЧЕННОЙ БЕСПОМОЩНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Веровкин В.И.¹, Веровкин С.В.²

¹*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
Калининградского государственного технического университета,
г. Калининград, Россия*

²*Институт физико-математических наук и информационных технологий
Балтийского федерального университета им. И. Канта,
г. Калининград, Россия*

Непрерывное возрастание требований к системе высшего образования в нашей стране приводит к интенсификации процессов обучения и воспитания студентов вузов. Не смотря на жесткую систему отбора абитуриентов, большая часть обучающихся с трудом справляется с предложенными темпами овладения новыми знаниями, умениями, навыками и компетенциями

(ЗУНК). Значительную трудность представляет собой и процесс совершенствования личностных качеств студентов: развитие способностей, интереса к жизни, активной жизненной позиции, высокой самооценки, заинтересованности в овладении новыми ЗУНками, конкурентоспособности, стрессоустойчивости и т.д. Серьезной проблемой является возникновение и рост в студенческой среде такого отрицательного явления, как обученная беспомощность.

Под ней понимается сформировавшиеся морально-психологические представления, что данный человек не способен к реализации активных творческих функций. Обученная беспомощность проявляется в неуверенности в своих силах, ощущении неполноценности.

Применительно к студенту данное состояние формируется тогда, когда он убеждается, что ситуация, в которой оказался обучающийся и которая ни в коей мере его не устраивает, совершенно не зависит от его поведения, от предпринимаемых им усилий эту ситуацию изменить. Важнейшим условием такой установки на стабильность неудач является уверенность студента, что во всех своих неудачах повинен он сам (его бездарность, глупость, безволие, неумение справиться с трудностями), тогда как успех, если он вдруг приходит, обусловлен случайным удачным стечением обстоятельств или чьей-то помощью. Напротив, достаточно высокая и устойчивая самооценка, самоуважение к себе как личности является важнейшим фактором противодействия обученной беспомощности.

Признаками обученной беспомощности обучающихся в узком представлении являются: неадекватная пассивность; снижение мотивации обучающихся в проблемных ситуациях. В широком представлении признаками обученной беспомощности обучающихся наряду с указанными являются: низкий интерес к учебе и соответственно низкая успеваемость; окончательно подорванная вера в свои возможности; уверенность в дальнейшем ухудшении своего положения; не замечаются собственные успехи, даже если они все же иногда случаются; нарастание эмоционального напряжения; самооправдание: ссылки на необъективность, повышенную требовательность преподавателя, невезение и случайности [1]. Узкое представление является загрубленным. Оно характерно при ускоренной процедуре преодоления обученной беспомощности (ПОБ). В остальных случаях применяют более сложную, но и более точную оценку обученной беспомощности с использованием широкого представления.

В психотерапии известен способ ПОБ больного, в котором музыкотерапией, арттерапией, игротерапией первоначально снимают остроту переживаний, создают условия для перевода сознания из бессознательной сферы в сознательную. Развивают и формируют ролевую позицию, проводят упражнения по освоению профессиональных и трудовых действий, повышают мотивацию на обучение и личностное развитие. В конце курса восстановления больного переводят в гипнотическое состояние с проговариванием лечебных формул самовнушения [2].

Недостатки способа:

1. Помещение обучающегося в игровое поле соответствует понижению онтогенеза, нахождение в котором длительное время не желательно, т.к. вырабатывает привыкание.

2. Введение больного в гипнотическое состояние приводит к его переводу в принципиально иное условно-воображаемое пространство состояния, требующее последующего безударного перехода в реальность.

Также способствует ПОБ способ развития сознания обучающихся [3]. Наряду с музыкотерапией, арттерапией, игротерапией он также включает анализ анамнеза, проведение рациональной психотерапии и релаксации, развитие сознания, проведения бесед, лекций, создание доверительной атмосферы путем эмпатического выслушивания, сопереживания, участия, повышение мотивации на самосовершенствование и интереса к психотерапевтическим занятиям.

Недостатки способа:

1. Процедура развития сознания обучающегося слабо формализована.

2. Сознание развивается в модельном варианте на базе абстрактных представлений о реальной действительности. Развитость сознания же можно оценить по его способности к выполнению задач из реальной действительности. Однако способность развитого сознания к их выполнению может оказаться сколь угодно малой.

3. Оценка развитости сознания осуществляется также в модельном варианте, а не по

реальному материальному проявлению сознания обучающихся, по результатам их производственно-хозяйственной деятельности.

4. Используемые средства развития сознания малопригодны для решения задачи ПОБ, как от морально-психического синдрома. Особенно это касается запущенной стадии, требующей более эффективных средств, чем используются в способе.

В нашей работе обученная беспомощность преодолевалась с помощью обучающего комплекса, состоящего из ученического предприятия (соответственно, студенческой или школьной компании) и деловой игры. Это достигалось путем проведения рациональной психотерапии и релаксации, развития сознания личностно-ориентированным образом, коррекции психоэмоциональных и психосоматических расстройств. В основе способа ПОБ лежит успешное решение производственно-экономических задач в ученическом предприятии. Последнее допускает возможность совершения и исправления ошибок в принятии решений. Успешности функционирования ученического предприятия также способствуют элементы квазипрофессиональной игровой деятельности – деловой игры, снижающей уровень онтогенеза. В ней в упрощенной форме проигрываются актуальные производственные ситуации, возникающие в ученическом предприятии. Обученную беспомощность обучающегося преодолевали путем успешного решения посильных задач, приближенных к реальной действительности.

Поведение обучающихся в ученическом предприятии и деловой игре носит деятельностный характер и имеет экономическую направленность. Такой базис позволяет обучающимся легче включиться в процесс решения технико-экономических задач, в рамках которого и борются с обученной беспомощностью.

Создание ученического предприятия, как ведущего звена в процессе преодоления обученной беспомощности, позволило обучающимся в ходе производственно-экономической деятельности преодолевать обученную беспомощность и восстанавливать поисковый характер деятельности. Решаемые в ученическом предприятии задачи близки к тем задачам реальной жизни, которые ежедневно приходится решать любому человеку: экономика пронизывает всё общество, отражая наиболее общий характер его деятельности. Кроме того, экономические задачи, в силу их комбинаторности, практически никогда не могут быть решены точно. Для их приближенного решения эффективны, прежде всего, различные поисковые процедуры, хорошо отражающие процесс поиска человеком выхода из создавшихся жизненных ситуаций.

Близость подходов к решению задач производственно-экономического характера в обучающем комплексе и в реальной жизни создает благоприятную основу для использования уже накопленного жизненного опыта при решении задач, возникающих в процессе деятельности ученического предприятия.

Дополнение ученического предприятия деловой игрой позволило:

- обучающимся стать более успешными. При этом начинают эксплуатироваться ранее накопленные ЗУНКи и личностные качества обучающегося. Такие условия для игры имеются у всех. Игра выступает как уравниватель возможностей, исходных условий для всех участников;
- «сделать два шага назад» в направлении облегченного онтогенетического прошлого;
- создать условия для поисковой деятельности. Обучающиеся, утратившие (подавившие в себе) упоительное чувство поиска нового, ранее неизвестного вовлекаются в водоворот коллективного поиска решений. Игра выступает реаниматором поисковой активности обучающихся;
- реализовать личные возможности в коллективном способе обучения. За ошибки отвечает коллектив. Он же стремится помочь отстающим. Игра выступает великим интегратором;
- снизить ответственность каждого участника за неоптимальные решения. Ошибки носят естественный игровой характер. А применительно к ученическому предприятию, ошибки будут приводить к негативным последствиям (замедлению темпов развития предприятия, браку). Но на полученном ошибочном опыте в дальнейшем будут более приниматься обдуманые и правильные действия. При этом коллектив толерантно относится к промахам своих товарищей;
- помочь индивидууму исправить и избежать ошибок, что также способствует укреплению уверенности в достижении поставленной цели;
- постоянно ощущать близость возможной победы, что создает веру в победу и вводит

участников в состояние эйфории;

– каждому участнику увидеть результат, прочувствовать и насладиться плодами своей деятельности в течение относительно небольшой продолжительности игры. Состояние успеха внушает уверенность в своих силах, формируя и повышая иммунитет против обученной беспомощности;

– поступиться своими амбициями в пользу общественно полезного продукта. Игра выступает как средство ускоренного осознания и усиления значимости общественных ценностей.

В игре и в ученическом предприятии решают логические задачи, требующие использование механизма осознанного анализа и синтеза принципиального решения. Логика на основе правильно выстроенного анализа цепочки последовательностей или иных обстоятельств, событий и доводов позволяет делать правильные выводы и на их основе принимать верные решения. Такое свойство человека помогает ему во многих жизненных ситуациях найти оптимальный способ выхода из них, или предугадать и предупредить всевозможные неприятности. Более того, логика является неременным атрибутом принятия грамотных управленческих решений, научных открытий и множества иных историй успеха в самых разнообразных отраслях. Именно поэтому, развитие логики является приоритетом у каждого человека.

Во время деловой игры и при работе в ученическом предприятии обучающиеся причащаются к саморассуждению, к формированию внутри своего сознания мыслей в виде отчетливо различных логических построений и фраз по типу внешней речи. Проигрывание актуальных производственных ситуаций, возникающих в ученическом предприятии, позволило искать и находить варианты решения, оценить возможные последствия принятия того или иного решения, отбирать из них наилучшие.

В деловую игру, как психологический инкубатор, обучающихся привлекают на непродолжительное время, чтобы не позволить им привыкнуть к щадящим условиям игры. После решения в ней поставленных задач, на третьем этапе обучающихся переводят назад в ученическое предприятие. Этот перевод позволяет адаптировать деятельность обучающихся от игровых к более сложным, многообразным условиям реальной трудовой деятельности. В результате происходит отказ от множества условностей модельного представления реального функционирования ученического предприятия. Плавный переход от деловой игры в ученическое предприятие проводят путем направления обучающихся первоначально на решение нетрудных производственных задач с постепенным усложнением заданий. Такой переход позволяет избежать рецидивов обученной беспомощности из-за резкого усложнения условий деятельности обучающихся.

Анализ значений признаков обученной беспомощности на завершающем этапе позволяет оценивать неадекватную пассивность и снижение мотивации обучающихся в проблемных ситуациях. При необходимости (при высоком остаточном уровне обученной беспомощности) цикл её преодоления повторяют, вновь возвращая обучающихся в деловую игру.

Решение логических задач в игре и в ученическом предприятии требуют для их разрешения использование механизма осознанного анализа и синтеза принципиального решения. Их решение позволило активизировать поисковый характер деятельности, как основы преодоления обученной беспомощности. В деловой игре решают актуальные задачи из реальной жизни ученического предприятия, что позволяет придать особый статус важности получения творческого решения.

Известно, что игра является генератором развития ребенка, в период ее доминирования как ведущей деятельности на ранней стадии онтогенеза. Часто игра оказывается полезной и на более высоком уровне онтогенеза: это перевод деятельности человека в более привычную, знакомую область, где легче существовать, поскольку при этом вновь эксплуатируются хорошо усвоенные ЗУНКи. На такого рода деятельность затрачивается минимум семантической энергии. Для обучающихся детство – это недалекое прошлое. Подавляющее большинство испытывает по нему внутреннюю ностальгию. Человека привлекает благоприятная для него область. Эта область несет положительные воспоминания и создает мажорное настроение.

Воспитание силы воли, оптимизма, веры в собственные силы и чувства собственного

достоинства обуславливают поисковое поведение обучающихся. Введение молодого человека в устойчивое состояние уверенности в себе, в собственные силы, дополненное творческим азартом и успехом в достижении целей обуславливает состояние трудового комфорта, резко повышая мотивацию обучающихся к активному поисковому поведению. Игра способствует налаживанию межличностного общения, снимает (преодолевает) напряженность, тревогу и страх, повышает уверенность в своих силах. Одновременно игра переводит в активную форму реализации то, что ранее человек переживал пассивно.

Совмещение учебно-профессиональной (в ученическом предприятии) с квазипрофессиональной деятельностью обучающегося (деловой игрой) дает ряд преимуществ, напрямую вытекающих из достоинств контекстного обучения [4]. При этом для успешного объединения проектировочной, технологической и управленческой видов деятельности обучающихся в профессионально-подобных ситуациях создают адекватные психолого-педагогические условия.

При использовании обучающего комплекса встает актуальная задача формирования психолого-педагогических условий безударного перехода от деловой игры к управлению реальным ученическим предприятием. Для развития поискового поведения обучающихся создают условия для зарождения и последующего использования побочных продуктов. Во-первых, за счет дополнения ученического предприятия деловой игрой. Тем самым способствуют переносу предмета познания учебно-профессиональной деятельности на предмет квазипрофессиональной игровой деятельности обучающегося и наоборот. Во-вторых, обеспечивают итеративность процедуры синтеза. Тем самым предмет познания, сформировавшийся на одном или нескольких циклах итерации, далее применяют при иных (часто – качественно отличных) условиях на другом цикле итерации. Сближение по времени и общность решаемых в циклах задач облегчает сам переход, процесс применения побочного продукта в новых условиях и создает облегченные условия для выработки самой способности к поиску и творчеству.

В ходе развития поискового поведения обучающихся трепетно относятся к любым проявлениям творческой инициативы. Стремятся не пропустить и, по возможности, поддержать и развить любые, даже самые скромные попытки их проявления.

Каждая личность обладает определенным психологическим небалансом (психологическим барьером), к восприятию которого она готова. Его превышение может приводить к отторжению нового представления, как явно не укладывающегося в рамки личностных представлений о действительности. Для исключения этого в обучающем комплексе используют мелкопорционный метод подачи нового. При сборе и анализе анамнеза не только оценивают начальные ЗУНКи, но и личностные качества обучаемого – его психологические возможности. Выявляют уровень барьера, и далее так выстраивают систему преодоления обученной беспомощности так, чтобы всякий раз не допускать отторжения части нового материала.

Учет реальных возможностей обучающихся при дозировании нового позволяет избежать эмоциональной напряженности, вызываемой страхом перед изменением ситуации, и не допустить развития фрустрации обучающегося (психического состояния, возникающего вследствие реальной или воображаемой помехи, препятствующей достижению цели). Многократный же недоучет реальных возможностей обучающегося способен приводить к череде неудач, уничтожая веру в собственные силы и развитию обученной беспомощности, отказу от поиска.

В обучающем комплексе исключают авторитарный стиль управления, сопровождающийся жесткими ограничениями на свободу выбора обучающихся. Иначе возможна потеря инициативы, постепенный отказ обучающихся от преобразовательной, активной позиции. Также исключают излишнюю опеку обучающихся, постоянное навязывание и подсказывание решений.

Перевод деятельности студента из игровой в ученическое предприятие на прежнем предметном материале равносителен предварительному формированию побочного продукта, востребованного при дальнейшей работе обучающегося. По аналогии с работой [4] можно говорить о переносе предмета познания как основной цели и мотива квазипрофессиональной игровой деятельности обучающегося на предмет профессиональной деятельности. При этом игровая информация проецируется на содержание учебно-профессиональной деятельности и получает новый статус – средства практической работы с этим содержанием.

На завершающем этапе ПОБ определяют изменения в состоянии обученной беспомощности. При необходимости цикл преодоления обученной беспомощности повторяют, вновь возвращая обучающихся в игру.

Описанный способ ПОБ прошел успешную апробацию в двух обучающих комплексах: студенческой компании по изготовлению малых архитектурных форм в комплекте с деловой игрой «ПРУК», а также в ученическом предприятии по изготовлению телефонных справочников в комплекте с деловой игрой «Дельта-М».

Библиографический список

1. Ротенберг, В.С. Сновидения, гипноз и деятельность мозга. / В.С. Ротенберг. / <http://www.bookap.by.ru/gypno/rotenberg/oglav.shtml>.

2. Способ коррекции психоэмоциональных и психосоматических расстройств у детей с термической травмой [Текст]: пат. 2270036 Рос. Федерация: МПК А61М21/00/ Брычева Н.В.; заявитель и патентообладатель Государственное учреждение "Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Министерства здравоохранения Российской Федерации" - № 2004121666/14; заявл. 07.14.2004; опубл. 02.20.2006. - 17 с.

3. Способ развития сознания у учащихся внешкольного образовательного учреждения [Текст]: пат. 2474439 Рос. Федерация: МПК А61М21/00/ Заикин Н.И., Заикина Н.Е., Боровинский Д.В., Волков С.А.; заявитель и патентообладатель Заикин Н.И., Заикина Н.Е., Боровинский Д.В., Волков С.А. - № 2011127803/14; заявл. 04.07.2011; опубл. 10.02.2011. - 19 с.

4. Вербицкий, А.А. Проблема трансформации мотивов в контекстном обучении [Текст] / А.А. Вербицкий, Н.А. Бакшаева // Вопросы психологии. - 1997. - № 3. - С. 12-22.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДБОРА ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Темкин И.О., Григорова Е.Н.

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
г. Москва, Россия*

В современных условиях развития, когда происходит быстрое изменение условий внешней среды, требования к производственной деятельности повышаются. Современный рынок требует от производства выпуск качественной продукции, а также учёт индивидуальных особенностей потребителя.

Актуальность автоматизации подбора детского питания, производимого заводом N, обусловлена потребностью в приобретении продукта, подходящего конкретному потребителю.

Ранее подбор детского питания, производимого заводом N, осуществлялся консультантами по телефонам горячей линии либо в магазинах, занимающихся реализацией данного товара.

Предлагаемый метод автоматизации заключается в создании интеллектуальной системы в программе INDEKS на основе нечёткой логики, с помощью которой потребители могут получить предложение оптимального продукта, основанное на вводимых требованиях по определённым параметрам. Данный способ подбора питания для детей минимизирует затраты компании на консультирующий персонал, а также облегчает процесс выбора того или иного продукта родителями для ребёнка.

В программе производитель создает базу знаний продуктов детского питания, где может определять и изменять факторы и соответствующие им значения (рисунки 1 и 2). Таким образом, создается производственная модель, основанная на предложении типа «Если..., то...».

Программа подбирает код подходящего по всем выбранным факторам продукта, исходя из которого потребитель может найти в базе производителя название продукта и заказать его на сайте либо приобрести в магазине.

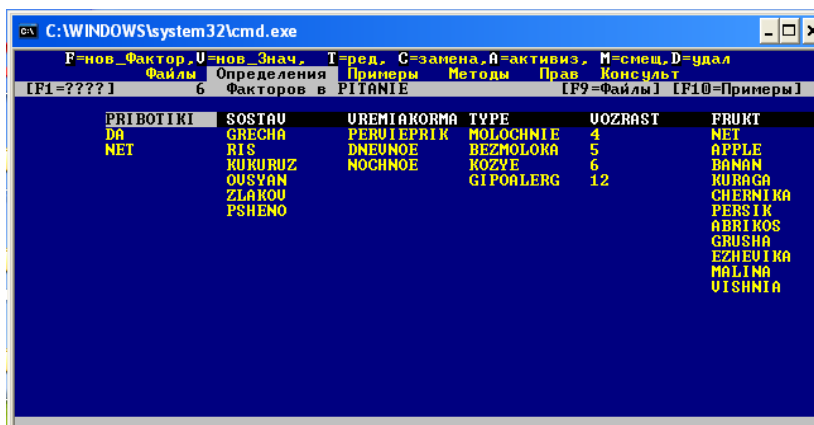


Рисунок 1 – Экранная форма создания базы знаний

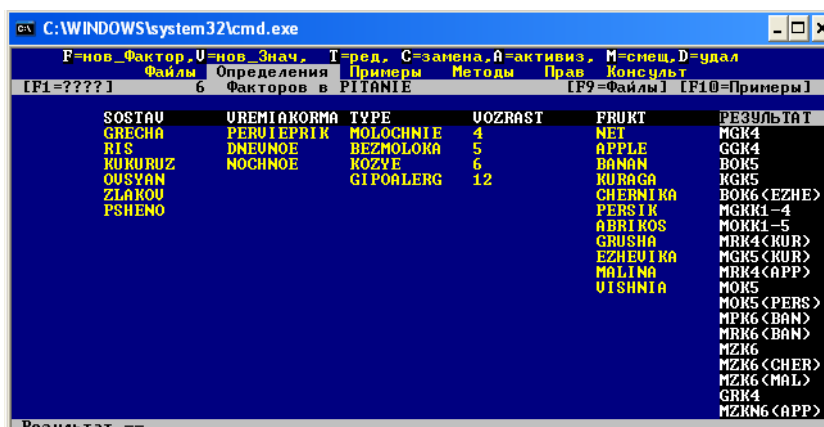


Рисунок 2 – Продолжение базы знаний

В программе осуществляются действия:

- 1) создание базы знаний с факторами и значениями параметров детских каш (рисунки 1 и 2);
- 2) добавление, редактирование, замена и удаление факторов и значений (доступно только производителю);
- 3) добавление примеров продуктов, обладающих определенными значениями (рисунок 3);
- 4) задание веса для каждого созданного примера (рисунок 4);
- 5) вывод результата (рисунок 6).

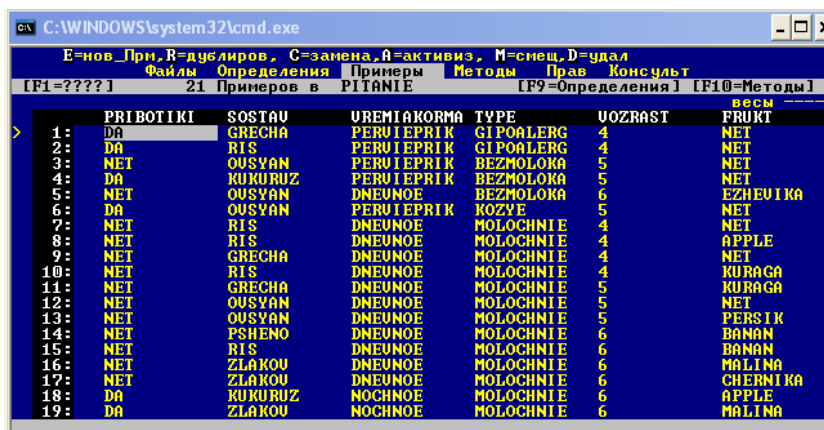


Рисунок 3 – Экранная форма примеров продуктов и соответствующих им значений

	UREMIAKORMA	TYPE	UOZRAS	FRUKT	РЕЗУЛЬТАТ	Вес
1:	PERUIEPRIK	GIPOALERG	4	NET	GGK4	[1.00]
2:	PERUIEPRIK	GIPOALERG	4	NET	GKK4	[1.00]
3:	PERUIEPRIK	BEZMOLOKA	5	NET	BOK5	[1.00]
4:	PERUIEPRIK	BEZMOLOKA	5	NET	KOK5	[1.00]
5:	DNEVNOE	BEZMOLOKA	6	EZHETV IKA	BOK6 <EZH>	[1.00]
6:	PERUIEPRIK	KOZYE	5	NET	MOK5	[1.00]
7:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	4	NET	MKK4	[1.00]
8:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	4	APPLE	MKK4 <APP>	[1.00]
9:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	4	NET	MKK4	[1.00]
10:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	4	KURAGA	MKK4 <KUR>	[1.00]
11:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	5	KURAGA	MKK5 <KUR>	[1.00]
12:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	5	NET	MOK5	[1.00]
13:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	5	PERSIK	MOK5 <PERS>	[1.00]
14:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	6	BANAN	MKK6 <BAN>	[1.00]
15:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	6	BANAN	MKK6 <BAN>	[1.00]
16:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	6	MALINA	MKK6 <MAL>	[1.00]
17:	DNEVNOE	MOLOCHNIE	6	CHERNIKA	MKK6 <CHER>	[1.00]
18:	NOCHNOE	MOLOCHNIE	6	APPLE	MKK6 <APP>	[1.00]
19:	NOCHNOE	MOLOCHNIE	6	MALINA	MKK6 <MAL>	[1.00]

Рисунок 4 – Экранная форма задания веса каждому примеру

В программе реализуется поиск подходящего по параметрам потребителя продукта (рисунки 5 и 6).

Каково значение FRUKT?

- NET
- APPLE
- BANAN
- KURAGA
- CHERNIKA
- PERSIK
- ABRIKOS
- GRUSha
- EZHETV IKA
- MALINA
- UISHNIA

Рисунок 5 – Экранная форма выбора предпочитаемых параметров

Результат --

MZZK6 <APP>

Рисунок 6 – Экранная форма вывода результата

В ходе работы была создана производственная модель в программном продукте Indeks, с помощью которой можно получить рекомендации по детскому питанию производителя N. Таким образом, проведена автоматизация процесса подбора питания для детей. Продолжением данной работы может стать усовершенствование дерева решений, применение нечеткой логики к интеллектуальной системе, что приведет к более корректному подбору здорового питания для детей с учетом склонностей к аллергическим реакциям и другим индивидуальным особенностям ребёнка.

Библиографический список

1. Фомичева О.Е. Учебное пособие «Нечеткие множества» / О.Е.Фомичева, О.Г.Харахан. – Москва, 2010. – 209 с.

СЕКЦИЯ 4
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫМ АГРЕГАТОМ

Федосенков Д.Б.¹, Симилова А.А., Федосенков Б.А.

¹Сибирская генерирующая компания, г. Москва, Россия
Кемеровский технологический институт пищевой промышленности,
г. Кемерово, Россия

Для получения 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, как

$$H(t, \omega) = Coh\{x_o(t)\} / Coh\{x_I(t)\},$$

где $Coh\{x_I(t)\}$ и $Coh\{x_o(t)\}$ – соответственно время-частотные распределения класса Коэна входного и выходного одномерных сигналов материалопотока. Здесь многомерные распределения класса Коэна [1,3] получены на базе вейвлет-функций Габора [2, 4]. Тогда распределение выходного сигнала смесительного устройства

$$Coh_o(t, \omega) = H(t, \omega)Coh_I(t, \omega),$$

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

$$x_o(t) = \int_0^t S_I(t')h(t, t')dt',$$

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:

$$Coh_o(t, \omega) = \int_0^t \int_0^\omega K(t, \omega; t', \omega')Coh_I(t', \omega')dt'd\omega'$$

Прямой расчет дает выражение

$$K(t, \omega; t', \omega') = \frac{1}{8\pi^3} \int_0^t \exp\{-j[\omega\tau - \omega'\tau' - \theta(u-t) + \theta'(u'-t')]\} \frac{\Phi(\theta, \tau)}{\Phi(\theta', \tau')} \times \\ \times h^*\left(u - \frac{\tau}{2}, u' - \frac{\tau'}{2}\right) h\left(u + \frac{\tau}{2}, u' + \frac{\tau'}{2}\right) dud\tau d\theta du' d\tau' d\theta'$$

Например, для распределения Рихачека [1] имеем:

$$K(t, \omega; t', \omega') = \frac{1}{2\pi} h(t, t')S^*(\omega, \omega')\exp(-j\omega t + j\omega' t'),$$

где $S(\omega, \omega') = \frac{1}{2\pi} \int_0^\tau \int_0^{\tau'} h(t, t')\exp(-j\omega t - j\omega' t')dt dt'$ – спектральная функция импульсной переходной характеристики смесителя. Здесь $K(t, \omega; t', \omega')$ представляет собой двумерное распределение Рихачека.

Для распределения Вигнера получим:

$$K(t, \omega; t', \omega') = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_0^{t'} \exp(-j\omega\tau + j\omega'\tau') h^* \left(t - \frac{\tau}{2}, t' - \frac{\tau'}{2} \right) h \left(t + \frac{\tau}{2}, t' + \frac{\tau'}{2} \right) d\tau d\tau',$$

что представляет собой двумерное распределение Вигнера [1].

С целью контроля параметра сглаживания флуктуаций материалопотоков на предсмесительной стадии, что является чрезвычайно важным с точки зрения возможности управления процессом получения смесей высокого качества, были получены время-частотные карты (ВЧК) на входе (рисунок 1) и выходе (рисунок 2) смесительного аппарата.

1) При этом сигнал БДУ двух шнековых дозаторов, работающих в режиме порционного дозирования (частотные режимы работы 0,82Гц (T=1,22 с) и 0,996Гц (T=1,13 с));

2) двух спиральных дозаторов, работающих в режиме биений; рабочие частоты 2,03Гц (T= 0,49с) и 2,50Гц (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 рис. 3 и 4 на время-частотной карте эти два сигнала отчетливо разделены;

3) спирального дозатора при перестройке режима работы (сбросе нагрузки); при изменении режима работы от 3,32Гц (T=0,30 с) до 6,12Гц (T=0,16 с);

формировался дозаторами следующих типов:

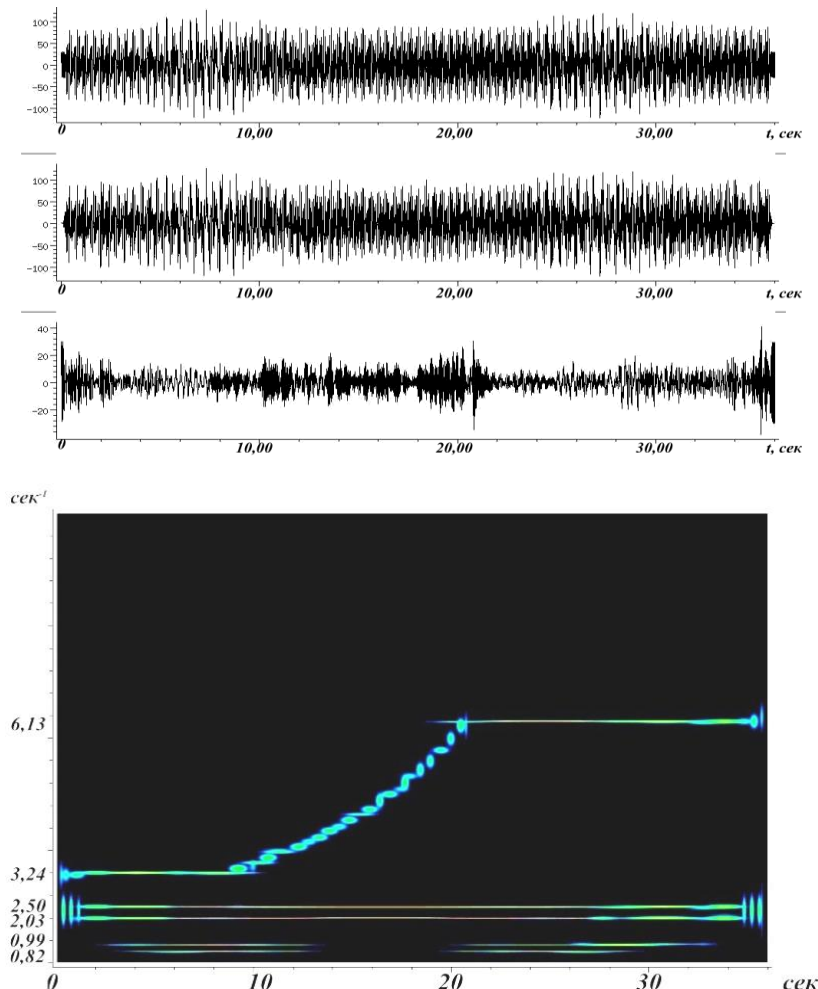


Рисунок 1 - Сигнал расхода; сигнал, восстановленный по алгоритму вейвлет-поиска соответствия [4]; ошибка адаптивной аппроксимации и его ВЧК на предсмесительной стадии

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 предсмеси-

тельной стадии, стадии смещения (сигналы в глобальном, локальном рецикл-канале) и на выходе смесеприготовительного агрегата.

Поскольку смесительная аппаратура (смеситель, каналы направленной организации потока) 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 4 показывает, что на выходе смесительного устройства отсутствуют время-частотные атомы, характерные для режима перестройки работы спирального дозирующего устройства (рисунок 1). Отчетливо идентифицируются картой Вигнера только атомы на частотах, не превышающих 3,3 Гц.

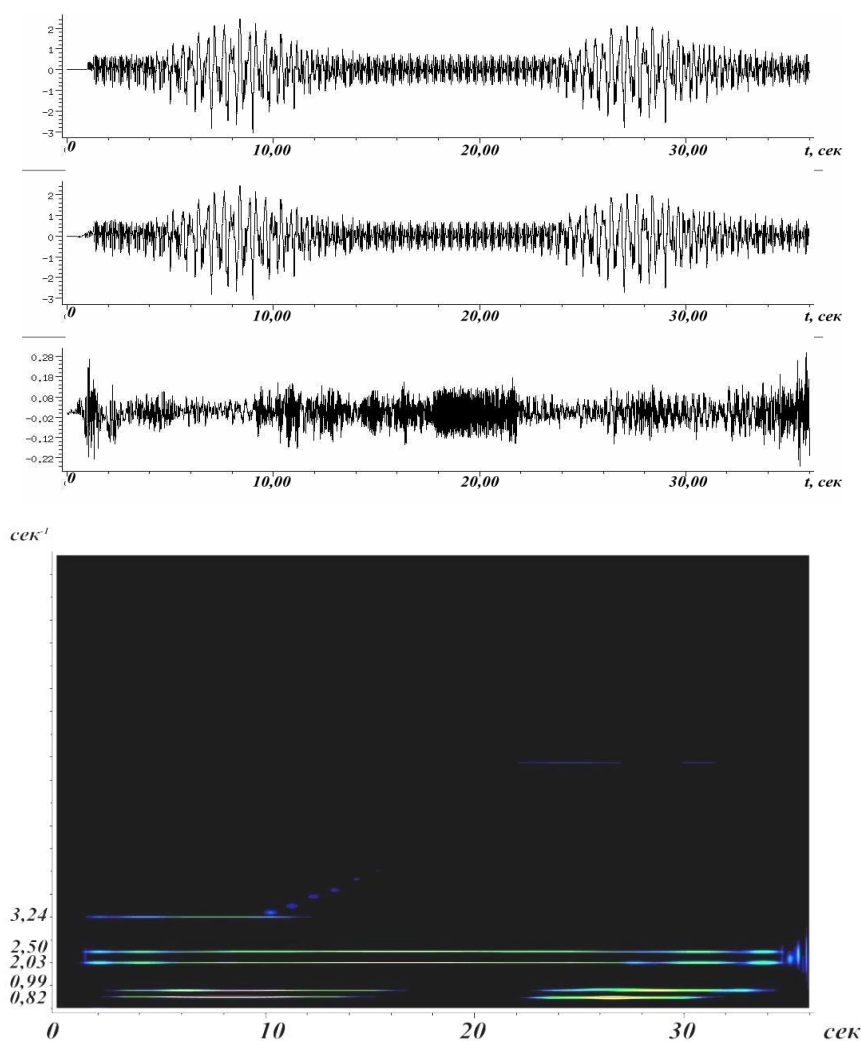


Рисунок 2 - То же (рисунок 3) на выходе смесительного устройства

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. - Englewood's Cliffs: Prentice Hall, 1995.

2. Daubechies, I. Ten lectures on wavelets / I. Daubechies. – CBMS-NSF; Regional conference series in applied mathematics. – SIAM, PA, 1992.
3. Choi, H. I. Improved time-frequency representation of multicomponent signals using exponential kernels / H. I. Choi and W. J. Williams // IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc. – 1989. – Vol. 37, № 6. – P. 862-871.
4. 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.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕХОДОМ В ПРОСТРАНСТВО ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ

Гусев С.С.

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

Введение

Невозможно представить себе современную науку без широкого применения математического моделирования. Сущность этой методологии состоит в замене исходного объекта математической моделью и дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов [4]. Работа не с самим объектом, а с его моделью дает возможность относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях (преимущества теории). В то же время вычислительные (компьютерные, имитационные) эксперименты с моделями объектов позволяют, опираясь на мощь современных вычислительных методов и технических инструментов информатики, подробно и глубоко изучать объекты в достаточной полноте, недоступной чисто теоретическим подходам (преимущества эксперимента).

Наличие моделей и механизмов управления привлекательно как с точки зрения управляющего органа [5] – так как позволяет предсказать поведение управляемых субъектов, так и с точки зрения управляемых субъектов – так как делает предсказуемым поведение управляющего органа. То есть снижение неопределенности за счет использования механизмов управления является одним из существенных свойств любой организации как социального института.

Качество идентификации объекта управления в большей степени определяет и качество управления сложным объектом. Большую роль при этом играет учет априорной информации о структуре и параметрах объекта. В докладе исследуется работа специального алгоритма идентификации, учитывающего определенную информацию о параметрах. Исследуется работа алгоритма при наличии помехи при измерении выхода. Анализируется связь точности идентификации и величины ошибки измерения.

2. Постановка задачи

Рассмотрим алгоритм идентификации, учитывающий априорную информацию о параметрах объекта. Будем рассматривать объект вида

$$y = xh^T, \quad (1)$$

где y – скалярный выход объекта,

x – вектор-строка входных переменных размерности n ,

h – вектор-строка неизвестных параметров объекта тоже размерности n .

Дополнительно об объекте (1) известно, что параметры h , принадлежат априорно известной области H , т.е.

$$h \in H. \quad (2)$$

Задача состоит в том, чтобы по экспериментальным данным, заданным в виде матрицы определить оценки параметров h с учетом условия (2). Критерием точности определения оценок параметров объекта является известная область принадлежности параметров h .

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_1 \\ 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ i & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_s \end{pmatrix}, \quad (3)$$

3. Алгоритм идентификации

Из матрицы исходных экспериментальных данных (3) выделим матрицу входов размер $n \times s$

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} \end{pmatrix}$$

и матрицу выхода $1 \times s$

$$Y^T = \|y_1, y_2, \dots, y_s\|.$$

Алгоритм идентификации, подробно описанный в [1], состоит в следующем. Из матрицы исходных данных (3) выбираются блоки из произвольных n строк (по размерности объекта). Для каждого блока составляется своя система уравнений. Ниже приведена система уравнений, соответствующая первому из таких блоков

$$\begin{aligned} k_1 x_{11} + k_2 x_{12} + \dots + k_n x_{1n} &= y_1 \\ k_1 x_{21} + k_2 x_{22} + \dots + k_n x_{2n} &= y_2 \\ \dots & \dots \\ k_1 x_{n1} + k_2 x_{n2} + \dots + k_n x_{nn} &= y_n \end{aligned},$$

где k – оценки параметров объекта h , или в матричном виде

$$Xk^T = Y.$$

Произведя умножение левой и правой частей этого равенства слева на X^T , получим систему нормальных уравнений

$$X^T X k^T = X^T Y,$$

по которой с помощью МНК вычисляются оценки 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). Все эти оценки параметров собраны в матрицу B , содержащую C_s^n строк и $2n$ столбцов и имеющую вид

$$B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{L1} & a_{L2} & \dots & a_{Ln} & k_{L1} & k_{L2} & \dots & k_{Ln} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $L = C_s^n$.

В любой i -ой строке матрицы B в первых n позициях перечислены номера строк a_{ij} матрицы A , использованные для вычисления n оценок k_{ij} , вычисленных по этим строкам и расположенных в (4) в i -ой строке на последних n позициях. Априорное условие (2) учитывается путем вычеркивания из (4) всех строк, в которых оценки k не удовлетворяют условию

$$k_i \in H,$$

где

$$k_i = \|k_{i1} \quad k_{i2} \quad \dots \quad k_{in}\|, \quad (i = 1, 2, \dots, s).$$

В результате вычеркивания получается матрица

$$B_0 = \left\| \begin{array}{cccccccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nn} & k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{Nn} \end{array} \right\|, \quad k_i \in H,$$

где $N \leq L$.

Введем вектор частоты w , размерности s , имеющий вид

$$w^T = \|w(1) \quad w(2) \quad \dots \quad w(s)\|,$$

где $w(j)$ - частота использования номера j -ой строки матрицы A в матрице B_0 .

Введем новую матрицу F , отличающуюся от A тем, что в нее добавлен столбец, включающий вектор w

$$F = \left\| \begin{array}{ccccccc} w(1) & 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_1 \\ w(2) & 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w(s) & s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_s \end{array} \right\|. \quad (5)$$

Последний шаг алгоритма состоит в следующем. Строки матрицы F сортируются по первому столбцу так, чтобы значения $w(j)$ возрастали снизу вверх. Обозначим полученную таким образом матрицу через F_0 .

Оператор, реализующий описанный алгоритм, обозначим через Ψ . Этот оператор преобразует матрицу исходных данных A в матрицу данных, отсортированную по частоте использования строк, в матрице B_0 , учитывающей априорные условия $k_i \in H$. Это можно записать так

$$F_0 = \Psi\{A\} \quad k_i \in H. \quad (6)$$

Рассмотрим некоторые свойства оператора Ψ , позволяющие существенно увеличить точность идентификации, но для начала приведем сравнение приведенного алгоритма идентификации статического объекта с алгоритмом идентификации статического объекта работы [1].

В работе [1] алгоритм идентификации статического объекта состоит в следующем. Из матрицы исходных данных (3) выбираются блоки из произвольных n строк (по размерности объекта). Для каждого блока составляется своя система уравнений. Из матрицы (3) можно получить C_s^n таких n -мерных блоков, для каждого из которых строится свой вектор оценок параметров объекта (1). Все эти оценки параметров собраны в матрицу B , содержащую C_s^n строк и $2n$ столбцов.

Отличительной особенностью приведенного выше алгоритма от алгоритма, описанного в работе [1] 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.

4. Основные результаты

Докажем, что оператор Ψ преобразует матрицу исходных данных (3) таким образом, что данные с большими ошибками измерения с большой вероятностью оказываются внизу блока данных. Это позволяет отбросить часть данных с большими ошибками и использовать для идентификации только отфильтрованные данные.

Предположим, что входные переменные x измеряются без ошибок, а выход y - с ошибкой ε . Рассмотрим несколько основных случаев.

4.1. Большие ошибки

Предварительно введем некоторые определения.

Будем называть ошибку измерения конкретного выхода y_i большой, если при использовании этого выхода в любом n -мерном блоке оценки $k \notin H$.

Докажем следующее утверждение.

Теорема 1. Если в блоке исходных данных (3) точно в m произвольных строках выход y измеряется с большой ошибкой, и выполняется условие $s > n + m$, то в результате использования оператора Ψ все строки с ошибкой окажутся внизу матрицы F_0 , по верхним $s - m - n$ строкам этой матрицы могут быть получены точные оценки параметров объекта (1).

Доказательство приведено в [3].

4.2. Общий случай

Рассмотрим теперь случай, когда ошибка измерения выхода y приводит к выходу оценок за область H только с некоторой вероятностью p для всех n -мерных блоков, в который вошел этот выход y . Ранее, при больших ошибках, эта вероятность строго была равна единице.

Пусть среди всех s данных (3) только два произвольных измерения выхода сделаны с ошибкой. Для краткости будем называть n -мерных блок, не содержащий строки с ошибочными измерениями чистым, а содержащий – ошибочным. Ссылки на n -мерный блок и однозначно ему соответствующую строку в B , будем использовать одновременно.

Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 2. Если среди исходных данных (3) есть только два измерения выхода y_i и y_j сделанных с ошибками, которые приводят к выходу оценок за область H с вероятностью p_i и p_j , соответственно, и для определенности $p_i > p_j$, то в результате применения оператора Ψ в среднем будут выполняться неравенства

$$w(k) > w(j) > w(i), \quad k \neq i, \quad k \neq j. \quad (7)$$

Доказательство. Число всех возможных n -мерных блоков равно C_s^n и столько же строк в матрице B . Вычислим число строк матрицы B , содержащих 0, 1 и 2 ошибки, соответственно.

Не содержат ошибок

$$N_0 = C_{s-2}^n \text{ строк.} \quad (8)$$

При этом каждая из $(s-2)$ чистых строк упоминается

$$N_{01} = \frac{n}{s-2} C_{s-2}^n = C_{s-3}^{n-1} \text{ раз.} \quad (9)$$

Содержит строку i

$$N_i = C_{s-1}^{n-1}. \quad (10)$$

Грязная строка i в этом блоке упоминается все N_i раз

$$N_{i1} = C_{s-1}^{n-1},$$

Каждая чистая в этом блоке упоминается

$$N_{i01} = \frac{n-1}{s-1} C_{s-2}^{n-2}.$$

Содержит строку j

$$N_j = C_{s-1}^{n-1}. \quad (11)$$

Содержит строки j и i

$$N_{ij} = C_{s-2}^{n-2}. \quad (12)$$

Среднее число строк с одной ошибкой i или j или двойной ошибкой $i j$, попавших в блок B_0 (то есть в которых оценки не вышли за границы области H) будет равно

$$N_{iq} = (1-p_i)C_{s-1}^{n-1} \quad N_{jq} = (1-p_j)C_{s-1}^{n-1}. \quad (13)$$

$$N_{ij} = (1-p_i)(1-p_j)C_{s-2}^{n-2}. \quad (14)$$

Комбинируя формулы (5)-(14) вычислим средние частоты упоминания строк в матрице B_0 .

Частота упоминания каждой чистой строки состоит из четырех компонент

$$N_{01} = C_{s-3}^{n-1} = \frac{n(s-n)(s-n-1)}{s(s-1)} C_s^n,$$

$$N_{0i} = (1-p_i)C_{s-2}^{n-2} = (1-p_i) \frac{n(n-1)}{s(s-1)} C_s^n,$$

$$N_{0j} = (1-p_j) \frac{n(n-1)}{s(s-1)} C_s^n,$$

$$N_{0ij} = (1-p_i p_j) \frac{n(n-1)(n-2)}{s(s-1)(s-2)} C_s^n.$$

Общая частота упоминания каждой чистой строки

$$N_{01} = \frac{n(n-1)}{s(s-1)} \left[\frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + (2-p_i-p_j) + (1-p_i p_j) \frac{(n-2)}{(s-2)} \right] C_s^n$$

Частота упоминания строк с помехой i и j

$$N_i = \frac{n(n-1)}{s(s-1)} \left[(1-p_i) + (1-p_i p_j) \frac{n-2}{s-2} \right] C_s^n, \quad (15)$$

$$N_j = \frac{n(n-1)}{s(s-1)} \left[(1-p_j) + (1-p_i p_j) \frac{n-2}{s-2} \right] C_s^n. \quad (16)$$

Чтобы частота упоминания чистых строк была больше частоты упоминания грязных строк, т.е. соблюдалось условие

$$N_i > N_j,$$

как следует из (15) и (16), должно соблюдаться условие

$$N_i = 1 - p_i > 1 - p_j = N_j$$

или $p_j > p_i$. Что доказывает требования теоремы.

Чтобы соблюдалось условие

$$N_{01} > N_i,$$

необходимо

$$N_{01} = \left[\frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + (2 - p_i - p_j) + (1 - p_i p_j) \frac{(n-2)}{(s-2)} \right] > (1 - p_i) + (1 - p_i p_j) \frac{(n-2)}{(s-2)}$$

$$N_{01} = \frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + 2 - p_j > 1$$

$$\frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + 1 > p_j$$

То есть всегда, когда $s > n + 2$.

Стоит подчеркнуть, что последовательность строк, задаваемая теоремой 2, выполняется только в среднем, а не в каждом конкретном случае.

Библиографический список

1. 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.
2. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М., "Энергия", 1975.
3. Чадеев В.М., Гусев С.С. Идентификация с ограничениями. Определение оценок параметров статического объекта // Труды VII Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO '08. Москва, 28 - 31 января 2008 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2008. С. 261-269.
4. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.
5. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. – 584 с.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Мышляев Л.П.¹, Евтушенко В.Ф.¹, Ивушкин К.А.², Макаров Г.В.¹

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

²ООО ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

Разработка и внедрение систем управления связаны с необходимостью широкого применения методов моделирования и, соответственно, моделей объектов и систем управления. Для оценивания эффективности моделей используют показатели адекватности и/или подобия, при этом одним из важных требований к модели является обеспечение переноса результатов модельных решений на оригинал (натурную систему управления) и его составляющие.

Согласно определениям подобия и адекватности, изложенным в [1,2], подобие – это «такое соответствие между оригиналом и моделью, при котором известны *правила перехода* от параметров модели к параметрам объекта и наоборот, а математическое описание (если оно известно или может быть получено) допускает преобразование их к тождественному виду». В свою очередь, адекватность модели – «это ее способность отображать заданные свойства и условия функционирования объекта с требуемой точностью». Из этого вытекает, что

подобие объектов и систем управления является более общим понятием, чем адекватность, и включает в себя *не только оценку близости модели и оригинала, но и процедуры (методы, правила) перехода от параметров модели к параметрам оригинала и наоборот.*

Особенно важное значение требование о переносе решений, полученных в модельной системе, на натурную приобретает в тех случаях, когда их координатная и временная размерности не совпадают. В частности, когда в модельной системе управляемой частью является физическая модель натурального объекта. В таких случаях понятия адекватности модели становится недостаточным для обоснованного переноса (пересчета) модельных решений на натурные системы.

Пересчет полученных результатов с одной системы на другую в теории и практике управления встречается довольно часто в следующих классах задач

- исследование процессов (технических, социально – экономических и др.) на различных типах моделей для создания новых процессов и агрегатов, производств, организационных структур [3];

- непосредственно при управлении в классах структур систем управления с прогнозирующими моделями, например, [4];

- при полигонных испытаниях и настройке систем управления, в частности, [5].

Таким образом, основываясь на определениях, приведенных в [1,2], можно сделать вывод, что *обоснованный перенос (пересчет) результатов с одной системы управления на другую возможен только, если они подобны.* Для определения подобия конструктивных характеристик неуправляемых объектов и протекающих в них процессов преобразования энергии и вещества в настоящее время хорошо разработаны и широко применяются методы и критерии традиционной теории подобия [1]. Однако они не могут быть успешно использованы для определения подобия систем управления [6], *что требует их существенных дополнений и развития, не только для систем в целом, но и для их основных составляющих* [6,7].

Этот вывод подтверждается также принципиальным отличием в структуре математических моделей, используемых в традиционной теории подобия и теории управления. Современная теория подобия опирается на математические модели фундаментальных дисциплин [1]. Но в теории и практике создания систем автоматического управления используют особый класс моделей, существенно отличающийся «от моделей, эксплуатируемых в таких фундаментальных дисциплинах, как физика, химия»[8] и отражающий «важнейшие свойства объекта управления по отношению к заранее заданным входным и выходным переменным» [8]. Другими словами, они должны совместно отображать как динамику каналов преобразования внешних воздействий, так и свойства самих воздействий [9].

В то же время можно отметить частные примеры применения некоторых показателей подобия при решении инженерных задач анализа и синтеза систем управления. Во – первых, это отношение времени чистого запаздывания к постоянной времени инерции, используемое, в частности, в инженерных методах выбора и настройки законов регулирования [10]. Во – вторых, при оценивании области эффективной работы систем регулирования с обратной связью сопоставляется время чистого запаздывания динамического канала преобразования регулирующих воздействий с интервалом спада автокорреляционной функции приведенных к выходу объекта возмущений [10].

Исследования, связанные с развитием теории подобия применительно к системам управления, должны быть направлены, по нашему мнению,

- на выработку основных понятий и аксиом (в частности, в виде утверждений) подобия систем управления, отражающих требуемые свойства не только подобных систем управления в целом, но и отдельных ее составляющих, включая и внешние воздействия;

- на разработку процедур, методов и алгоритмов оценивания и управления подобием систем управления, позволяющих в конечном итоге решать задачи исследования и настройки одной из подобных систем (например, модельной) с последующим пересчетом результатов на другую;

- применение разработанных процедур, методов и алгоритмов для натуральных (технических, социально – экономических и других) систем с целью эффективного решения кон-

кретных задач управления.

В основу развития теории подобия систем управления положены следующие утверждения.

Утверждение 1. Системы управления подобны, если показатели (критерии) эффективности их функционирования равны с точностью до заданного значения.

Это утверждение для j -й и l -й систем управления можно записать в виде

$$\left\| q_j^H \{ (t-T), t \} - q_l^H \{ (t-T), t \} \right\| \leq \delta q_{jl}^{H*}; \quad j \neq l; \quad j = \overline{1, J}; \quad l = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где $\| \|$ – мера близости;

$q_j^H \{ (t-T), t \}$ и $q_l^H \{ (t-T), t \}$ – значения нормированных целевых показателей эффективности функционирования на заданном интервале времени T , соответственно, j -ой и l -ой систем управления;

t – непрерывное или дискретное время;

δq_{jl}^{H*} – величина, определяемая предельно допустимый (заданный) порог близости нормированных показателей $q_j^H \{ (t-T), t \}$ и $q_l^H \{ (t-T), t \}$, при котором эффективность этих систем считается одинаковой; J и L – число систем управления.

Нормирование целевых показателей осуществляется, например, по выражению

$$q^H \{ (t-T), t \} = \frac{q \{ (t-T), t \}}{q_{max}}, \quad (2)$$

где q_{max} – максимально возможное значение целевых показателей систем управления.

Утверждение 2. Степень подобия систем управления есть количественная мера близости показателей эффективности управления этими системами.

Примером метода количественного оценивания степени подобия служит метод коррелированных процессов, изложенный в [11], где предлагается осуществлять «установление степени соответствия исходной и упрощенной систем ... по корреляционным моментам статистических значений вероятностных характеристик» этих систем. Кроме того, степень подобия можно оценить на основе соотношения (1).

Утверждение 3. Объекты в системах управления подобны, если они удовлетворяют условиям совместного подобия контролируемых и неконтролируемых внешних воздействий и динамических каналов их преобразовании. Это условие записывается в виде равенства с точностью до заданного малого числа эффектов влияния изменений входных воздействий на выходные воздействия объекта управления.

Неконтролируемые воздействия можно оценить расчетным путем или экспериментально за счет приведения их к выходу [10] или к одному из управляющих входов [12] объекта управления.

Условие совместного подобия записывается, например, с помощью следующих выражений

$$\left\| y_j^H \{ (t-T), t \} - y_l^H \{ (t-T), t \} \right\| \leq \delta y^*; \quad j \neq l; \quad j = \overline{1, J}; \quad l = \overline{1, L}; \quad (3)$$

$$y_j \{ (t-T), t \} = \int_{t-T}^t \varphi_{vj}(\theta) \{ v_j(t-\theta) \} d\theta; \quad (4)$$

$$y_l \{ (t-T), t \} = \int_{t-T}^t \varphi_{vl}(\theta) \{ v_l(t-\theta) \} d\theta; \quad (5)$$

$$v(t) \in \{ w(t), u(t) \}, \quad (6)$$

где $v(t)$, $w(t)$, $u(t)$, $y(t)$ – соответственно, входные, внешние, управляющие и выходные воздействия объекта управления в момент времени t ;

T – интервал оценивания реакции объекта управления на изменение входных воздействий;

$\Phi_v \{ \cdot \}$ – динамический оператор канала преобразования входных в выходные воздействия;

δy^* – величина, определяемая предельно допустимый порог близости нормированных значений $y_j^H \{ (t - T), t \}$ и $y_l^H \{ (t - T), t \}$;

θ – вспомогательная переменная;

J и L – число систем управления.

Если условия подобия систем управления, например, по соотношению (1) не выполняются, то рассчитывают степень подобия рассматриваемых систем управления. Количественно ее можно оценить либо мерой разности δq_{jl}^H , полученной по соотношению (1) в безразмерной форме, либо по коэффициенту корреляции между целевыми показателями, отражающими эффективность функционирования этих систем [11]. Если значение степени подобия j -й и l -й систем управления не соответствует требуемому, то оценивается возможность достижения подобия систем управления за счет последующего целенаправленного изменения свойств j -й и l -й систем управления и их воздействий. Процесс воздействия на системы управления и их отдельные составляющие, направленный на выполнение условий подобия, будем называть *управлением подобием систем и их составляющих*.

Управление подобием систем управления базируется на следующих утверждениях.

Утверждение 4. Системы управления потенциально подобны, если точное или приближенное равенство значений их целевых показателей (критериев) эффективности управления может быть достигнуто за счет целенаправленных воздействий на изменение динамических свойств систем в целом и (или) их элементов, включая и внешние воздействия.

Утверждение 5. Объекты управления потенциально подобны, если условие совместного подобия их объектов и входных воздействий на конечном интервале времени T может быть достигнуто за счет целенаправленных воздействий на изменение динамических свойств контролируемых и неконтролируемых внешних воздействий и каналов их преобразования.

Утверждение 6. Системы управления принципиально не подобны, если точное или приближенное равенство значений их целевых показателей (критериев) эффективности управления не может быть достигнуто за счет целенаправленных воздействий на изменение динамических свойств систем в целом (без изменения их структуры) и/или их элементов, включая и внешние воздействия.

Сформулированные утверждения являются основой для разработки методов и алгоритмов оценивания и управления подобием систем управления и, соответственно, исследования систем управления на основе их подобия.

При этом полагается, что все структурное многообразие систем управления можно с точки зрения их подобия представить в виде трех классов: *подобные, потенциально подобные и принципиально не подобные системы управления*.

Процесс управления подобием систем включает текущее оценивание степени подобия систем управления и, если подобие нарушено, выработку управляющих воздействий подобием, целенаправленно изменяющих состояние любого элемента систем управления. Отметим, что такое целенаправленное изменение свойств одной из систем управления может существенно расширить область эффективного применения модельных систем управления при решении практических задач, в частности, связанных с исследованием и настройкой природных систем.

Заключение

1. Перенос результатов разработки и исследования (настройки) с одной системы управления на другую является обоснованным только при их подобии.

2. Утверждения, базирующиеся на равенстве или близости значений показателей эффективности функционирования систем управления, целесообразно положить в основу создания процедур, методов и алгоритмов оценивания и управления подобием.

3. Управление подобием систем позволяет обеспечить выполнение условий подобия потенциально подобных систем управления и тем самым расширить область эффективного применения методов и алгоритмов их разработки и исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №15-07-01972.

Библиграфический список

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1976.
2. Подобие и моделирование. Основные понятия. Терминология. Отв. ред. В.А. Веников. Комитет научно-технической терминологии. М.: Наука. 1987. Вып. 113
3. Мочалов С.П., Ивушкин А.А., Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Мурко В.И., Куценко А.И., Федяев В.И., Карпенко В.И. Автоматизированный экспериментально-лабораторный энерго-технологический комплекс // Уголь. 2012. № 10 (1039). С. 49-53.
4. Красовский А.А. Оптимальное управление посредством физической прогнозирующей модели // Автоматика и телемеханика. – 1979, – № 2. – С. 156–162.
5. Evtushenko V.F., Myshlyayev L.P., Makarov G.V., Ivushkin K.A. and Burkova E.V. // Adjustment of automatic control systems of production facilities at coal processing plants using multivariate physico-mathematical models / V.F. Evtushenko, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016, vol. 45, conference 1, 012010. <http://iopscience.iop.org> (SCOPUS).
6. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Зельцер С.Р., Венгер К.Г., Чичиндаев М.Г. Применение физических моделей в схемах натурно-математического моделирования. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. № 12. С. 65-67.
7. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г., Макаров Г.В., Ивушкин К.А. Понятия и условия подобия систем управления. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 58–60.
8. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. М.: Наука. Физматлит, 1997.
9. Мышляев Л.П., Файрушин Ш.А., Леонтьев И.А., Чернявский С.В. Модели объектов и действующие на них возмущения // Сб. науч. статей Межд. конф. «Научное развитие технологий разработки и использования минеральных ресурсов». Новокузнецк, 2016. С. 284–286.
10. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. М.: Энергия, 1973.
11. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. М.: Сов. Радио, 1973.
12. Барковский В.В., Захаров В.Н., Шаталов А.С. Методы синтеза систем управления. М.: Машиностроение, 1969.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ОБЪЕКТОВ

Орлова А.С.

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф.Решетнева, г. Красноярск, Россия*

Данная работа посвящена идентификации и управлению группой статических и динамических объектов в условиях как параметрической, так и непараметрической неопределенности. Причем группа объектов может состоять как из идентичных объектов, так и разнотипных. В теории идентификации и управления достаточно важными являются объем априорной информации о различных каналах объектов, а также средства контроля соответствующих

объектов. Управление группой объектов должно базироваться на следующих принципах:

- сбор априорной информации и анализу текущей информации об исследуемом процессе;
- математическая формулировка задачи, предполагающая те или иные допущения;
- синтез соответствующих алгоритмов управления.

Сначала рассмотрим задачу управления в общепринятой постановке [1], рассматривая ее как некий локальный объект (рисунок 1).

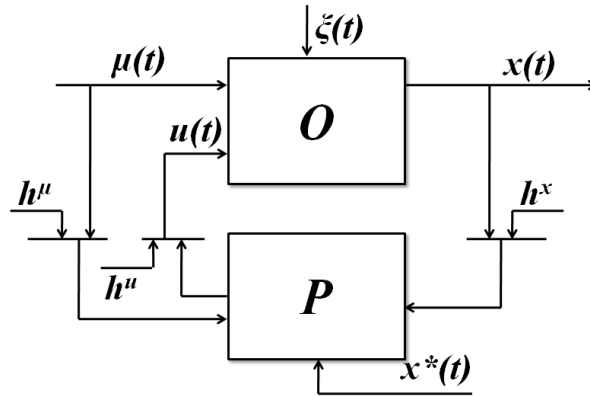


Рисунок 1 – Общая схема управления

На рисунке приняты следующие обозначения: O – объект, P – регулятор, $u(t)=(u_1(t), \dots, u_n(t)) \Omega(u) \subset R^n$, $x(t)=(x_1(t), \dots, x_n(t)) \Omega(x) \subset R^k$, $\mu(t)=(\mu_1(t), \dots, \mu_n(t)) \Omega(\mu) \subset R^m$, входная переменная $\mu(t)$ является контролируемой, но не управляемой, $x^*(t)$ – задающее воздействие. Случайный помехи h^u , h^x – это ошибки при измерении переменных, а $\xi(t)$ – случайная помеха, действующая на объект. Приведенная схема имеет локальный характер [2], в дальнейшем из соображения простоты все случайные переменные будут опущены. При идентификации подобных объектов модели могут иметь вид: $\hat{x}(u, \mu) = F(u, \mu, \alpha)$ при параметрической постановке, либо $x_s(u, \mu) = S(u, \mu, \vec{u}_s, \vec{x}_s, \vec{\mu}_s)$ при непараметрической постановке. Здесь \vec{u}_s , \vec{x}_s , $\vec{\mu}_s$, временные вектора равные $\vec{x}_s = (x_1, x_2, \dots, x_s)$, $\vec{u}_s = (u_1, u_2, \dots, u_s)$, $\vec{\mu}_s = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s)$ соответственно [3-4]. Непараметрические модели в общем случае имеют следующий вид:

$$x_{sl}(u, \mu) = \frac{\sum_{i=1}^s x_{li} \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{u_j - u_{ji}}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_{ji}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{u_j - u_{ji}}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_{ji}}{c_s}\right)}, l = \overline{1, k} \quad (1)$$

а алгоритмы управления будут

$$u_{sl}(x, \mu) = \frac{\sum_{i=1}^s u_{li} \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_j^* - x_{ji}}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_{ji}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^k \Phi\left(\frac{x_j^* - x_{ji}}{c_s}\right) \prod_{j=1}^m \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_{ji}}{c_s}\right)}, l = \overline{1, n} \quad (2)$$

В дальнейшем будут рассмотрены группы объектов, в частности наиболее простая из них – это группа последовательных объектов, которая представлена на рисунке 2. Из соображений простоты здесь уже не представлены случайные помехи, действующие в каналах измерений и на объект, хотя они конечно же присутствуют.

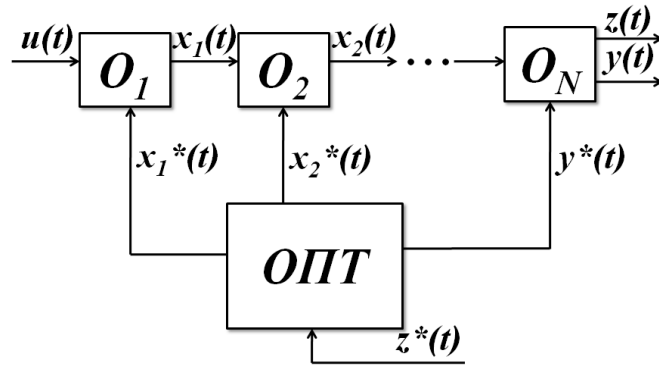


Рисунок 2 – Схема последовательных объектов

Здесь O_1, O_2, \dots, O_N – объекты показаны достаточно в общем виде и каждый из них может содержать макрообъект показанный на рис. 1, $ОПТ$ – оптимизатор. Управляющими переменными для оптимизатора являются $x_1^*(t), x_2^*(t), \dots, x_N^*(t), y^*(t)$. Цель оптимизатора состоит в отыскании управляющих воздействий $x_1^*(t), x_2^*(t), \dots, x_N^*(t), y^*(t)$, для достижения $z^*(t) \approx z(t)$. $z(t)$ – выходная переменная наиболее важная, которая характеризует результат работы всей группы объектов. Важно отметить, что дискретность измерений $z(t), y(t)$ и $x(t)$ могут существенно отличаться. Поэтому в подобных системах часто используют ускоренный прогноз $z(t)$, именно это значение формирует стоимость конечного продукта. Дискретность измерения $z(t)$ наибольшая из всех переменных и может быть равна суткам, неделям, а иногда доходит до месяца. Задача оптимизации принимает следующий вид:

$$R = M_{\xi} \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i(\mu, u, \xi) \right\}, \quad (3)$$

где R – функция полезности; $f_i(x, u)$,

$i = \overline{1, k}$ – набор критериев качества, которые формируются на основе модели исследуемого процесса $x_i = \varphi(\mu, u)$,

$i = \overline{1, k}$, в свою очередь φ_i ,

$i = \overline{1, k}$ – непрерывные функции;

α_i – весовой коэффициент, который определяется ЛПР.

В функции полезности были приняты следующие ограничения:

$$\begin{aligned} M_{\xi} \{ \varphi(\mu, u, \xi) \} &\geq 0, \quad j = \overline{1, \lambda}, \\ M_{\xi} \{ \varphi(\mu, u, \xi) \} &= 0, \quad j = \overline{1, \sigma}, \end{aligned} \quad (4)$$

где ξ – случайные помехи с неизвестной плотностью вероятности $P(\xi)$.

Тогда алгоритм вычисления $u_p^j, j = \overline{1, m}$ могут иметь следующий вид:

$$u_p^j = \frac{\sum_{i=1}^s u_i^j \alpha_{ips}}{\sum_{i=1}^s \alpha_{ips}} \quad (5)$$

$$\alpha_{ips} = \prod_{v=1}^k \Phi \left(\frac{f_v(\mu_t, u_t)}{c_s^f} \right) \prod_{v=1}^m \Phi \left(\frac{f_v(\mu_t, \mu_v^t)}{c_s^\mu} \right) \prod_{j=1}^v \Phi \left(\frac{\Psi_j(\mu_t, u_t)}{c_s^\Psi} \right) \prod_{j=1}^{\lambda} \frac{\text{sgn} \varphi_j(\mu_t, u_t)}{c_s^\varphi} \quad (6)$$

В случае возникновения задачи принятия решения, алгоритмы 5,6 могут быть несколько изменены. Это обусловлено тем, что в данном случае мы сталкиваемся с необходи-

мостью учитывать ограниченность обучающей выборки и как следствие этого отсутствие стремления параметров размытости к нулю с ростом s . В этом случае алгоритм принятия решений (6) более целесообразно представить в виде:

$$\alpha_{ips} = \prod_{v=1}^k W(\gamma_{vp} \cdot f_v(\mu_t, u_t)) \prod_{v=1}^m W(\gamma_{vp} \cdot (\mu_v - \mu_v^t)) \prod_{j=1}^v W(\gamma_{vp} \cdot \Psi_j(\mu_t, u_t)) \prod_{j=1}^{\lambda} \text{sgn } \varphi_j(\mu_t, u_t) \quad (7)$$

где функция $W(\cdot)$ – это аналог $\Phi(\cdot)$, а коэффициенты γ_{vp} – это своеобразный аналог параметров размытости, играющих в данном случае роль весовых коэффициентов [5].

Более сложной является параллельно-последовательная схема (Рисунок 3) взаимодействия технологических аппаратов, которая часто встречается на предприятиях дискретно-непрерывного типа [6-8].

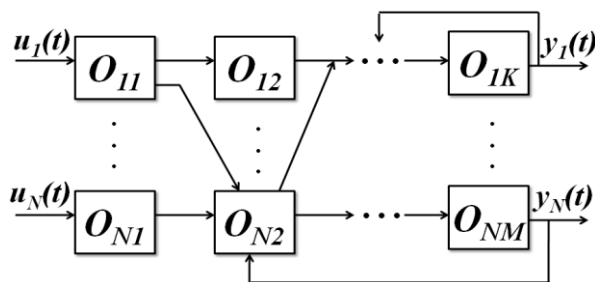


Рисунок 3 – Схема параллельно-последовательных объектов

На рисунке приняты следующие обозначения N – количество технологических линий, при этом из соображения простоты исключены все обозначения технологических переменных, в основном акцент делается на связь технологических цепочек.

Наконец, наиболее сложной является взаимосвязанный технологический процесс, который иллюстрируется на рисунке 4.

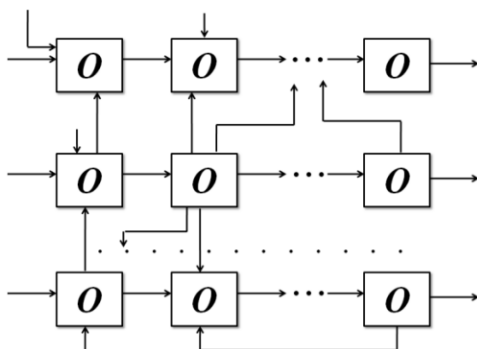


Рисунок 4 – Схема взаимосвязанных объектов

Здесь наиболее важным являются технологические связи между промышленными объектами, которые отдельно в этой статье не описываются. Также не описываются какие-либо технологические переменные [9-10].

Для практической реализации подобных схем управления группой объектов, необходима дальнейшая доработка соответствующего программного обеспечения, основными блоками которого будут являться модели объекта или группы объектов различных типов, алгоритмы управления и принятия решений.

Библиографический список

1. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации. М.: Наука, 1984. 320 с.
2. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Процессы // Вестник СибГАУ. 2010. № 3 (29). С. 4–9.
3. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник Сиб-

ГАУ. 2010. № 4(30). С. 4–9.

4. Корнеева А.А. О непараметрическом моделировании стохастических объектов / А.А. Корнеева, Е.А. Чжан // Вестник СибГАУ. – 2013. – Вып. 2 (48). С. 37–42.

5. Корнеева А.А. Об адаптивном управлении последовательных технологических объектов / А.А. Корнеева, М.Е. Корнет, А.Н. Сергеев, Е.А. Чжан // Вестник СибГАУ. – 2015. Т.16, №1. – С.72-78.

6. Медведев А. В. Некоторые замечания к Н-моделям безынерционных процессов с запаздыванием // Вестник СибГАУ. 2014. № 2(54). С. 24–34.

7. Михов Е. Д. Управление процессом, имеющим «трубчатую» структуру // Решетневские чтения : материалы XVIII Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М. Ф. Решетнева (11–14 нояб. 2014, г. Красноярск) : в 3 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2014. – Ч. 2. С. 99–101.

8. Чжан Е.А. К задаче моделирования Н-процессов // Решетневские чтения : материалы XVIII Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М. Ф. Решетнева (11–14 нояб. 2014, г. Красноярск): в 3 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2014. – Ч. 2. С. 137–139.

9. Банникова А.В. О непараметрическом алгоритме управления макрообъектом / А.В. Банникова, Е.Д. Михов // Мол. ученый. – 2014. – Вып. 1. (60). – С. 115–119.

10. А.В. Медведев Основы теории адаптивных систем : монография. / А. В. Медведев ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. – 526 с.

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ АЙ-ТРЕКЕРА «ФОКУС»

Ляховец М.В., Макаров Г.В., Куценко А.И.

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

Задачи автоматического распознавания образов и событий имеют все большую актуальность в связи с повсеместным использованием устройств и программ с возложенными на них «интеллектуальными» функциями. В частности, отслеживание направления взгляда человека может найти широкое применение во многих областях современной жизни. Например, в способах диагностики бинокулярного зрения человека, для помощи людям с ограниченными возможностями. Для них можно создать специальное программное обеспечение (ПО), которое позволяет им общаться с окружающим миром посредством компьютера, телефона или другого специализированного устройства. Также известны способы применения такого рода программ и устройств в маркетинговых целях для анализа расположения и содержания рекламы; в авиационных шлемах и системах наведения аппаратов в нужную область; для слежения за направлением взгляда водителя транспортного средства, и оптимизации салона автомобиля; определение правильности и удобства расположения оборудования, рациональности интерфейсов управления в производстве и многие другие применения [1].

Отслеживание направления взгляда возможно как с обычной веб-камеры, так и с носимого устройства, называемого «eye-tracker» (ай-трекер). Производители такого рода устройств, в основном, поставляют в комплекте готовые программные решения для отслеживания направления взгляда и анализа полученных результатов. Можно выделить следующие распространенные решения: SMI Experiment Suite Scientific, Tobii Pro Glasses 2 API, Mobile Eye Tracking, Umoove, WebGazer.js, Open Gaze and Mouse Analyzer (OGAMA), Gaze-Parser, Dynamic Areas of Interest (DynAOI), Eye Patterns и др.

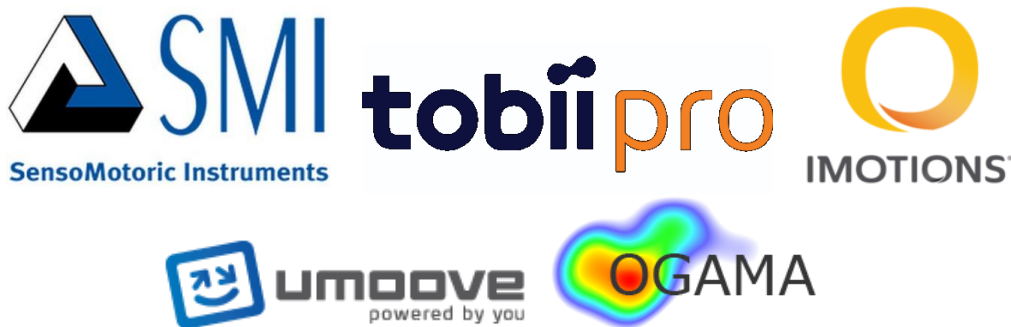


Рисунок 1 – Производители ПО

Однако, недостатком этих решений является привязка к дорогостоящему импортному оборудованию и сложность, а зачастую невозможность, доработки алгоритмов и ПО под собственные нужды. При создании ай-трекера «Фокус», разрабатываемого в рамках профессиональной переподготовки педагогических работников СибГИУ по дополнительной профессиональной программе «Акселерация научно-инновационных и учебных проектов», возникла необходимость разработки алгоритмического и программного обеспечения, удовлетворяющего требованиям базовой функциональности устройства.

Основной целью разработки алгоритмического и программного обеспечения было определение местоположения и величины перемещения центров зрачков субъекта, использующего ай-трекер. Известные алгоритмы определения положения зрачка могут быть условно выделены в следующие группы [2]:

- преобразование Хафа [3];
- проекционные методы по яркости и градиенту яркости [4];
- морфологические методы [5];
- построение оптимального контура [6].

В рамках разрабатываемого проекта ай-трекера «Фокус» был разработан алгоритм определения центра зрачка, блок схема которого представлена на рисунке 2.

При построении алгоритма отслеживания положения центра зрачка исходными данными алгоритма является матрица L , размером, совпадающим с разрешением видеочамеры 1280x960 ($m=1280, n=960$):

$$L = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1m} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & l_{nm} \end{pmatrix}$$

Выходными данными алгоритма – величина изменения положения глаза $\delta x, \delta y$ по отношению к предыдущему и итоговые координаты центра зрачка $X_{Ц}, Y_{Ц}$.

На основании алгоритма была разработана программа на языке программирования C# для определения координат направления взгляда пользователя «ОКО-трекер». К программному обеспечению предъявлялись требования выполнения перечисленных ниже функций:

- непрерывное оценивание изменения положения глаз;
- непрерывное преобразование изменения положения глаз в изменение координаты направления взгляда на мониторе.

Выделены и реализованы три режима функционирования программного средства.

Основной режим – «Рабочий режим». Все функции по отслеживанию положения глаза и привязке к координатам изображения на мониторе выполняются автоматически, включая получение изображений с камер, обработку и отображение на мониторе.

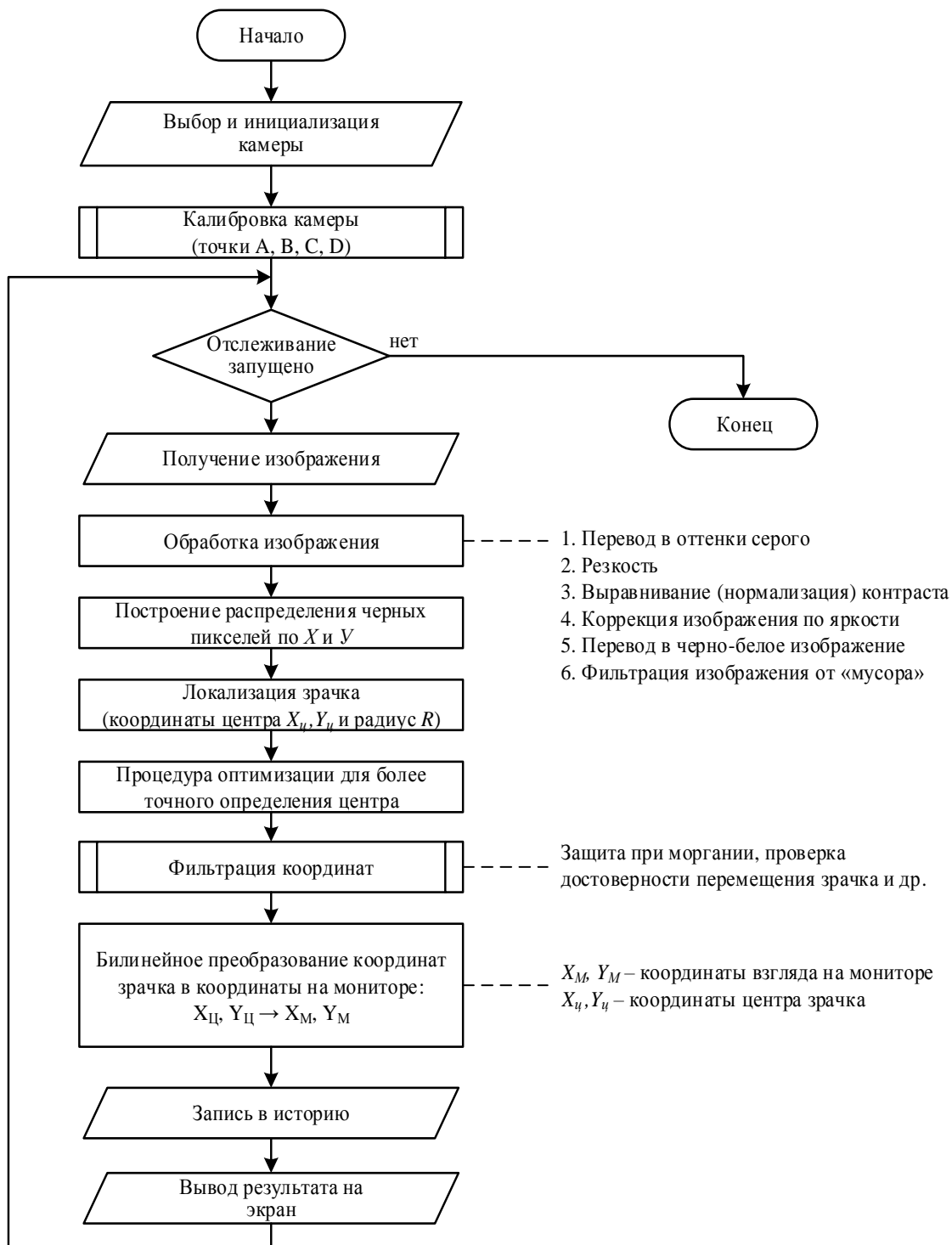
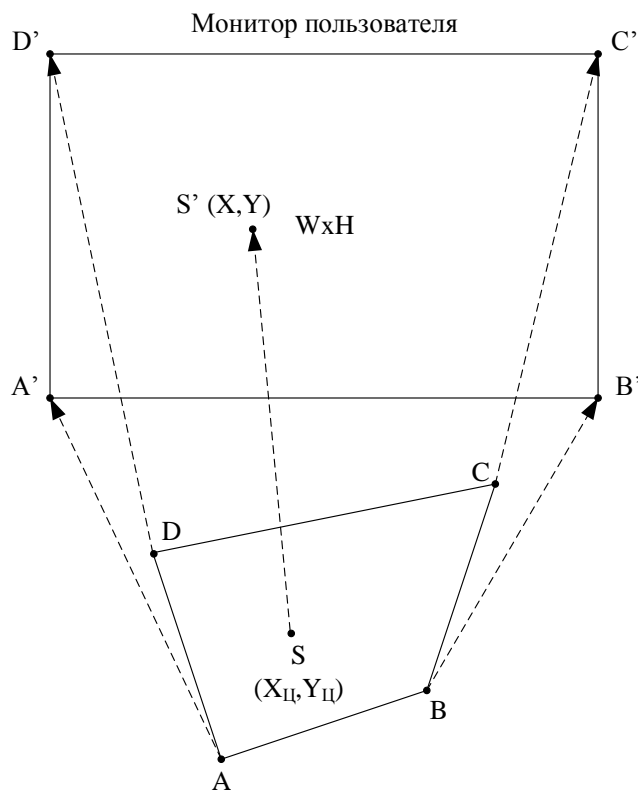


Рисунок 2 – Алгоритм процедуры отслеживания местоположения центра зрачка

Вспомогательный режим – «Калибровка». В данном режиме запускается специализированная подпрограмма, реализующая калибровку устройства в плане привязки положения глаза к заранее определенным координатам изображения на мониторе. Получение изображений с камер, обработка и отображение на мониторе производятся автоматически.

Калибровка представляет собой нахождение коэффициентов системы уравнений для билинейного преобразования координат центра зрачка на кадре в координаты на мониторе. Сначала определяется калибровочная область (A, B, C, D), определяются коэффициенты пересчета в координаты на мониторе (A', B', C', D') (рисунок 3). После этого начинается отслеживание точек в основном режиме (S→S').



Калибровочная область

Рисунок 3 – Калибровка

Наладочный режим – «Настройка». Режим предназначен для начала работы с устройством. Вручную производится подключение и выбор камер (если в системе есть иные камеры), настройка таких основных параметров как яркость, контрастность, резкость и др.

Скриншоты этапов отслеживания центра зрачка представлены на рисунке 4.

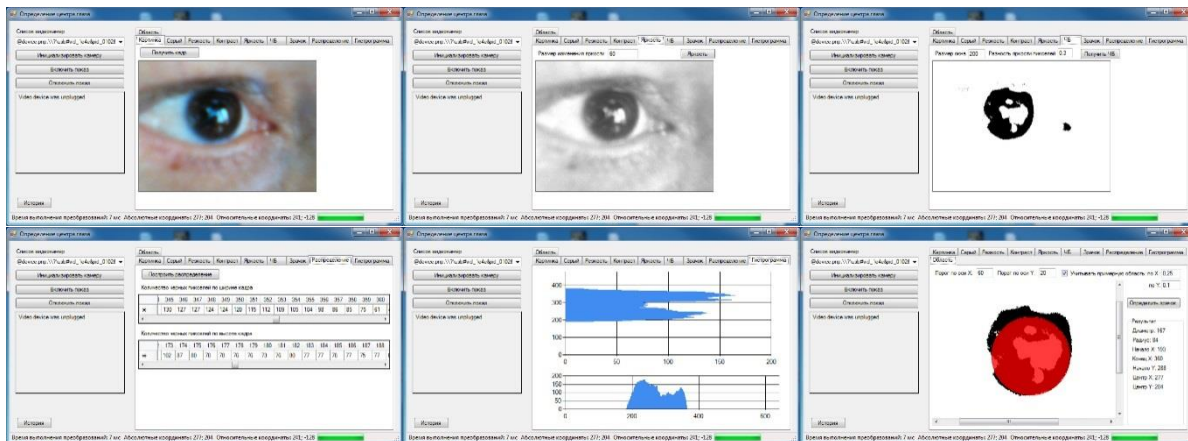


Рисунок 4 – Этапы определения зрачка

1. Получение изображения с камеры. Для получения качественного изображения необходимо достаточное освещение. Для этого установленные инфракрасные светодиоды позволяют создать достаточно контрастный вариант изображения для дальнейшей работы с ним. Ввод и обработка изображения с камеры в программе происходит с помощью библиотеки AForge (www.aforgenet.com).

2. Обработка изображения, включающее в себя переход к индексированному цветовому пространству изображения в оттенках серого, добавления резкости и автоматической подстройки яркости и контраста.

3. Фильтрация «шума» на изображении с целью выявления области зрачка, убрав слу-

чайные пятна и аберрации на изображении.

4. Частотный анализ полученного изображения и выделение наиболее обширных и темных областей.

5. Определение координат центра зрачка.

6. Процедура поисковой оптимизации методом Хука-Дживса для уточнения координат зрачка в предполагаемой области расположения зрачка.

Реализованное программное средство позволяет получить информацию с видеокамер, установленных в ай-трекере, и определить центр зрачка. Замер производительности разработанного программного средства показывает время менее одной секунды для определения центра зрачка, что позволяет успешно достичь цели функционирования ай-трекера. Дальнейшим направлением работ является оптимизация алгоритмического и программного обеспечения с целью увеличения производительности распознавания местоположения зрачка.

Библиографический список

1. Волконский А.С. Разработка и реализация алгоритмов детектирования зрачка глаза для определения направления взгляда наблюдателя / Волконский А.С., Лебедев И.М., Носков А.А. // Труды 13-й международной конференции "Цифровая обработка сигналов и её применение", 2011.

2. Харитонов А.В. Метод определения границы зрачка на изображении глаза / А.В. Харитонов, А.Г. Олейник // Труды Кольского научного центра РАН. 2014. № 5 (24). С. 171-177.

3. Матвеев И.А. Поиск окружности зрачка преобразованием Хафа для границ компонент связности / И.А. Матвеев, В.И. Цурков, Н.Н. Чинаев // Автоматика и телемеханика. 2015. № 11. С. 104-117.

4. Sanz J.L.C., Hinkle E.B., Jain A.K. Radon and projection transform-based computer vision. – Springer-Verlag, Berlin, 1988. – 123 p.

5. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Использование проективных морфологий в задачах обнаружения и идентификации объектов на изображениях // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2009. N.2. P.125-138.

6. Гридин В.Н., Титов В.С., Труфанов М.И. Адаптивные системы технического зрения // Центр информ. технологий в проектировании РАН (ЦИТП РАН). Санкт-Петербург, 2009.

САМООБУЧАЮЩИЕСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОБОРГ - СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Соловьев В.И.

Научно-Инженерный Центр АСВЛ, г. Москва, Россия

Введение

Основная сущность коборг-технологии для оперативного диагностирования и управления сложными организованными объектами (A complicated organized objects-Coborgs) была освещена в [1-3]. Она заключается в представлении таких объектов как некоторого организованного единства всех согласованно действующих в них процессов, органов, систем или функциональных узлов, не относящиеся к животному или растительному миру, но обладающие основными свойствами живых организмов. По сути, это конкретное определение достаточно точно объясняет смысл широко применяемого термина «организм» во всех "неживых" приложениях.

Основными свойствами коборга являются:

1. Наличие в его составе органов и процессов в них происходящих.

2. Наличие координат внутренних параметров состояния (ВПС) органов коборга. Они представляются в виде различных нормативов, заданных диапазонов и траекторий, предельно допустимых минимальных или максимальных величин, определяющих нормальное (за-

данное) состояние отдельного органа и коборга в целом;

3. Способность принимать и обрабатывать поступающую на его входы информацию в реальном или псевдореальном времени.

4. Воспринимать, хранить, использовать и представлять знания в данной предметной области.

5. Способность оперативно диагностировать текущее состояние органов и коборга в целом и своевременно выявлять намечающиеся расстройства и заболевания.

6. Выявлять причины расстройства или заболевания отдельных органов и коборга в целом.

7. Формировать управляющие воздействия по ликвидации намечающегося расстройства или заболевания коборга.

Основная часть

Очевидно, что основным ядром любой интеллектуальной коборг-системы является база знаний (БЗ) диагностирования текущего состояния объекта, определяющая, в конечном итоге, качество управления. Эти базы строятся на основе знаний, как отдельных экспертов, так и на основе "обобщенного эксперта", использующего знания из прикладных трудов, правил, инструкций, положений и других устанавливающих документов соответствующей предметной области. При этом для формального представления знаний применяются продукционная система, основанная на правилах вида «ЕСЛИ - ТО», а логические связи «И (AND)», «ИЛИ (OR)», «КОМБ (COMB комбинированная связь)» используются для построения иерархической сети конкретной интеллектуальной системы. Для оценки степени надежности вывода, приписанным правилам (знаниям) используется математическая процедура MYCIN [4], которая хотя и не имеет под собой строгого математического фундамента, но благодаря простоте восприятия нашла широкое применение во многих универсальных средствах обработки знаний. Суть процедуры в том, что если некоторая числовая предпосылка по определенному правилу из интервала $[-1, 1]$ равна 1, то коэффициент уверенности (степень надежности) вывода CF_i тоже равен 1 (истина), но если предпосылка удовлетворяется частично, то CF_i пропорционально уменьшается до $[-1]$ (ложь). На рисунке 1. приведен фрагмент сети базы знаний диагностирования коборга, реализованной по приведенной выше процедуре MYCIN:

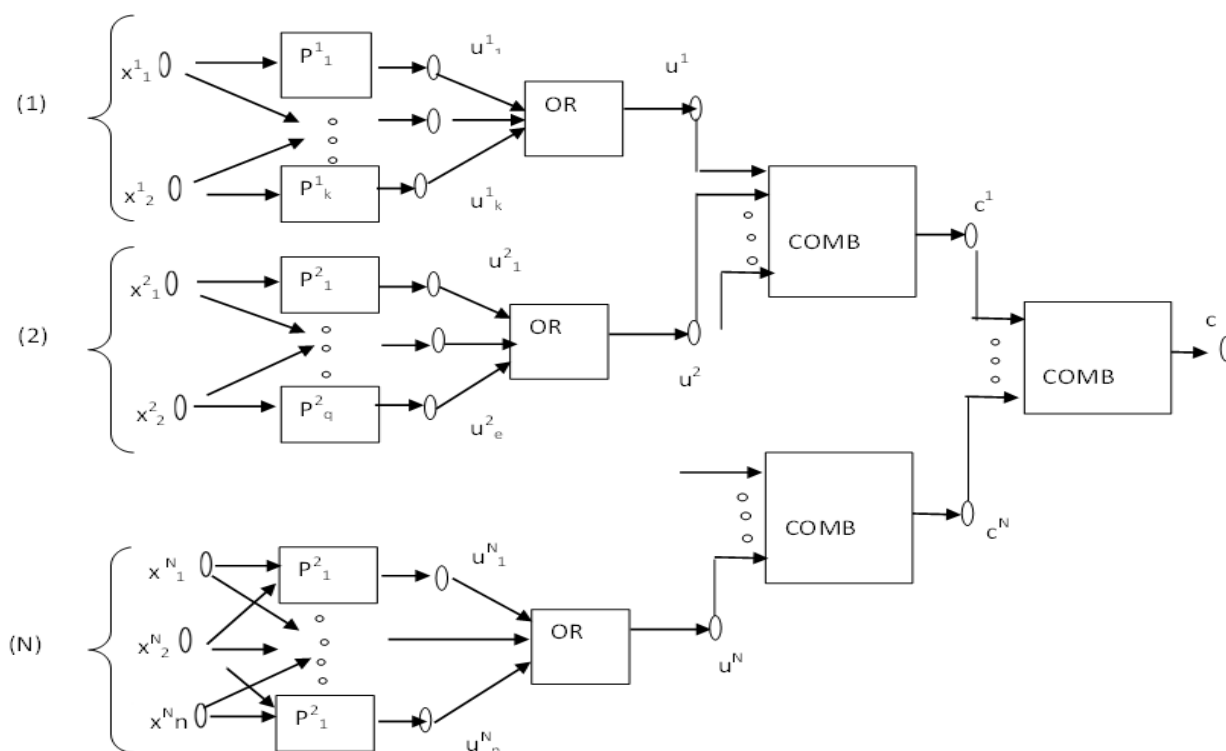


Рисунок 1 - Фрагмент сети базы знаний диагностирования коборга

Первый (начальный) слой образуют N блоков входных переменных (элементов) соответствующих симптомов x^j_1 , появление которых обуславливается отклонением текущих значений параметров состояния объекта от заданного (установленного) диапазона, причем x^j_1 может принимать несколько значений. Каждый блок входных переменных описывает результаты измерения одного из значений внутреннего параметра состояния коборга. Так, например, группа $x^i=(x^i_1)$, $i=1, \dots, 9$ служит для описания абсолютного значения (координаты) параметра. При этом x^i_1 задает допустимый диапазон изменения этого параметра, а x^i_2 - тенденцию его изменения за установленное время. В свою очередь, x^i_1 (диапазон изменения параметра) имеет три альтернативы: а) заданное значение (x^i_{11}); б) выше заданного значения (x^i_{12}); в) ниже заданного значения (x^i_{13}), а x^i_2 (тенденция изменения параметра) может принимать следующие значения: а) увеличивается (x^i_{21}); б) уменьшается (x^i_{22}); в) не меняется (x^i_{23}).

Второй слой образуют блоки продукции P^j_i вида:

IF <условие> THEN (тогда) $u^i = a$ ELSE (иначе) $u^i = 0$.

В качестве условия используются предикаты вида $u^i_j = < \text{значение} >$, объединенные логическим "И". Результатом выполнения продукции является значение переменной, имеющее смысл начальных весов w_{jk} о степени влияния конкретного k -го "И" правила сети на j -ое состояние коборга. Для определения этих начальных весов может быть использован, например, "коллективный эксперт", содержащий в себе некую совокупность знаний, извлекаемых из прикладных трудов предметной области, технологических инструкций и регламентов, типовых положений и правил, стандартов, а также знаний отдельных экспертов и др.

Третий слой образуют блоки так называемых OR(ИЛИ) – правил. Эти правила выполняются по следующему алгоритму. Пусть $s_1 \dots s_n$ - входные переменные OR-правила, а s – выходная переменная. Тогда:

1) если все $s_i = 0$, то $s = 0$.

2) если $s_i \leq 0$, то в качестве s принимается максимальная отрицательная s_i .

3) если s_i имеют положительные, нулевые и отрицательные значения, то $s = \max s_i$.

Как видно из рисунка 1 OR-правила используются для объединения результатов, получаемых во втором слое. Четвертый и последующие слои образуют блоки комбинированных правил (СOMB-правил). Под выходом "с" сети диагностирования понимается конечное значение уверенности вывода CF_j , по каждому текущему состоянию (расстройству) коборга из установленного списка $\{Q\}$. Многослойная структура позволяет удобно добавлять, расширять или удалять блоки правил в любом слое. Отметим, что в качестве $\{Q_j\}$, в зависимости от рассматриваемой предметной области, могут описываться как нечеткими термами состояния коборгов (например: нормальное, удовлетворительное, плохое), так и конкретными расстройствами и заболеваниями.

Как правило, процесс диагностирования сводится к непрерывному расчету и анализу кривых CF_i общего состояния коборга и состоянию отдельных органов.

Приведем пример диагностирования трех состояний (в соответствии с фрагментом базы знаний, приведенном на рис.1) Q_1 , Q_2 и Q_3 , соответствующие, например, термам текущего состояния коборга: «нормальное» - значок "n", «удовлетворительное» - значок "s" и «критическое» - значок "c" по координатам двух внутренних параметров состояния коборга. Полный набор комбинаций порождающих правил, реализующих логическую функцию «И (And)» и способ задания начальных весов, имеет следующий вид (x_1 – первый входной внутренний параметр, а x_2 – второй):

$$Q1n_1 = \text{And}(x^1_{11} x^1_{23}):0.45;$$

$$Q1s_1 = \text{And}(x^1_{11} x^1_{23}): - 0.45;$$

$$Q1c_1 = \text{And}(x^1_{11} x^1_{23}): - 0.45;$$

$$Q1n_2 = \text{And}(x^1_{11} x^1_{21}): - 0.25;$$

$$Q1s_2 = \text{And}(x^1_{11} x^1_{21}): 0.25;$$

$$Q1c_2 = \text{And}(x^1_{11} x^1_{21}): - 0.25;$$

$$\begin{aligned}
Q1n_8 &= \text{And}(x^1_{13} x^1_{21}): -0.45; \\
Q1s_8 &= \text{And}(x^1_{13} x^1_{21}): 0.45; \\
Q1c_8 &= \text{And}(x^1_{13} x^1_{21}): -0.45; \\
\\
Q1n_9 &= \text{And}(x^1_{13} x^1_{22}): -0.55; \\
Q1s_9 &= \text{And}(x^1_{13} x^1_{22}): -0.55; \\
Q1c_9 &= \text{And}(x^1_{13} x^1_{22}): 0.55; \\
\\
Q2n_1 &= \text{And}(x^2_{11} x^2_{23}): 0.345; \\
Q2s_1 &= \text{And}(x^2_{11} x^2_{23}): -0.345; \\
Q2c_1 &= \text{And}(x^2_{11} x^2_{23}): -0.345; \\
\\
Q2n_2 &= \text{And}(x^2_{11} x^2_{21}): -0.25; \\
Q2s_2 &= \text{And}(x^2_{11} x^2_{21}): 0.25; \\
Q2c_2 &= \text{And}(x^2_{11} x^2_{21}): -0.45; \\
----- \\
Q2n_8 &= \text{And}(x^2_{13} x^2_{21}): -0.25; \\
Q2s_8 &= \text{And}(x^2_{13} x^2_{21}): 0.25; \\
Q2c_8 &= \text{And}(x^2_{13} x^2_{21}): -0.25; \\
\\
Q2n_9 &= \text{And}(x^2_{13} x^2_{22}): -0.345; \\
Q2s_9 &= \text{And}(x^2_{13} x^2_{22}): -0.345; \\
Q2c_9 &= \text{And}(x^2_{13} x^2_{22}): 0.345;
\end{aligned} \tag{1}$$

Каждый параметр и его производная (тенденция изменения) имеет полное число комбинаций правил (девять), которому предписывается в соответствии с экспертной оценкой определенные начальные веса в интервале от $[+1 -1]$, соответствующие степени достоверности (+), или недостоверности (-) вывода по каждому применяемому правилу. OR-правила (рисунок 1) используются для объединения результатов, получаемых во втором слое. В данном примере:

$$\begin{aligned}
Q1n &= \text{Or}(Q1n_1 Q1n_2 Q1n_3 Q1n_4 Q1n_5 Q1n_6 Q1n_7 Q1n_8 Q1n_9); \\
Q1s &= \text{Or}(Q2s_1 Q2s_2 Q2s_3 Q2s_4 Q2s_5 Q2s_6 Q2s_7 Q2s_8 Q2s_9); \\
Q1c &= \text{Or}(Q3c_1 Q3c_2 Q3c_3 Q3c_4 Q3c_5 Q3c_6 Q3c_7 Q3c_8 Q3c_9);
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
Q2n &= \text{Or}(Q21n_1 Q21n_2 Q21n_3 Q21n_4 Q21n_5 Q21n_6 Q21n_7 Q21n_8 Q21n_9); \\
Q2s &= \text{Or}(Q22s_1 Q22s_2 Q22s_3 Q22s_4 Q22s_5 Q22s_6 Q22s_7 Q22s_8 Q22s_9); \\
Q2c &= \text{Or}(Q23c_1 Q23c_2 Q23c_3 Q23c_4 Q23c_5 Q23c_6 Q23c_7 Q23c_8 Q23c_9);
\end{aligned}$$

На выходе с¹ сети имеем результирующие текущие значения расчетных коэффициентов уверенности вывода CF_j каждого состояния коборга:

$$\begin{aligned}
Q_n &= \text{COMB}(Q1n Q2n); \\
Q_s &= \text{COMB}(Q1s Q2s); \\
Q_c &= \text{COMB}(Q1c Q2c);
\end{aligned} \tag{3}$$

КОМБ – правила подкрепляют или опровергают цель на основании двух или более доказательств.

Настройка сети базы знаний производится по принципу обратного расчета коэффициентов уверенности путем начальной установки их желательных значений (обычно ± 0.9) в последнем слое сети для нормального состояния коборга. Как было отмечено выше, в базах знаний диагностирования, входящих в состав интеллектуальных систем управления, устанавливаются экспертные настройки начальных весов $u^i = a$ (рис.1). В процессе реальной работы системы под влиянием случайных воздействий внутренних и внешних возмущений, а

также неточностей самих экспертных знаний происходит накопление ошибок диагностирования, что зачастую требует остановок системы для необходимых корректировок начальных весов базы знаний. Эти нежелательные обстоятельства снижают эффективность интеллектуальных систем управления, функционирующих в реальном времени. Очевидно, что избежать этих недостатков возможно, если система способна в режиме нормальной эксплуатации самообучаться и самостоятельно производить корректировку весов базы знаний.

Как видно из рис.1 в иерархической сети базы знаний, построенной на продукциях, существует только одно место (второй слой) возможной корректировки установленных начальных весов (предикаты вида $u_j^i = \langle \text{значение} \rangle$, объединенные логическим "И"). Заметим, что это касается сети базы знаний любой конфигурации. Для дальнейшего понимания предлагаемого метода рассмотрим основные характеристики сети БЗ диагностирования коборгов различного назначения, используемые для самообучения и корректировок весов:

1. Динамическая ошибка диагностирования текущего состояния коборга. Оценка этой ошибки должна осуществляться в процессе эксплуатации объекта и, таким образом, не только выявлять ошибки при отнесении входного вектора ВПС к определенному терму состояния, но и ошибки по отклонению траектории переходного процесса. Как было сказано выше, текущее состояние коборга, связанное с текущим значением расчетного коэффициента уверенности вывода CF_j^p , адекватно предопределяет некоторый интервал выходной регулируемой координаты Y . Справедливо и обратное утверждение о том, что по текущему значению выходной регулируемой координаты Y можно судить о действительном текущем значении CF_j^d при диагностировании состояния коборга. Для определения действительного значения CF_j^d рассмотрим рис.3., на котором приведен пример обобщенной функции принадлежности для трех термов состояния коборга. На диаграмме для простоты представлены сечения положительных значений CF_j для указанных термов состояния коборга, соответствующих определенным состояниям (расстройством) коборга. На самом деле, полная функция CF_j представляет некоторую гиперповерхность, перемещающуюся в положительной и отрицательной областях по оси Q .

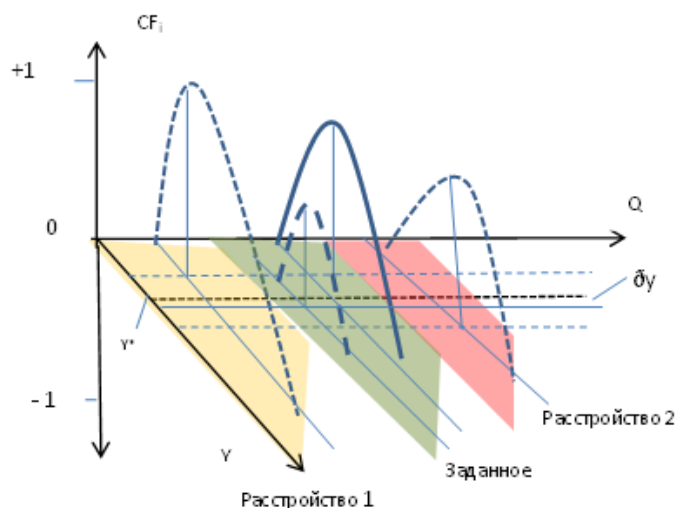


Рисунок 2 - Диаграмма состояний коборга

На рисунке 2 для простоты понимания представлены кривые коэффициентов уверенности вывода CF_j для отдельных состояний коборга, расположенные в положительной области. Из рисунка следует, что существует вполне определенное соответствие между выходной управляемой координатой Y , интервалами состояний коборга Q и коэффициентом уверенности вывода CF_j . Т.е., можно записать, что

$$y_k \in Y \quad \langle \leftarrow j \in \Omega_Q \rightarrow \rangle \quad \langle \leftarrow j \in \Omega_{CF} \rightarrow \rangle \quad (4)$$

На основании этого утверждения, определение текущей ошибки диагностирования можно

определить следующим образом. Примем, как показано на рисунке 1, $CF_j = c_j$. Тогда

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta y(i) = y^* - y(i); \\ \delta c_j^p(i) = \delta y(i) \cdot \frac{1}{k[1 + \exp(-(c - \theta))]}; \\ c_j^p(i) = c_j^* - \delta c_j^p(i); \\ \delta c_j(i) = c_j(i) \cdot [c_j^p(i) - c_j^p(i)]; \\ c_j(i) = c_j(i) \cdot [1 - c_j(i)]. \\ [0 < \theta < 1] \end{array} \right. \quad (5)$$

Здесь y^* и c_j^* - заданное значение выходной координаты и соответствующее ему максимальное значение коэффициента уверенности вывода по j -му состоянию коборга; $y(i)$ и $c_j^p(i)$ - текущие значения выходной координаты и расчетного коэффициента уверенности вывода в дискретное текущее время i ; $c_j^p(i)$ - действительное значение CF_j в дискретное текущее время i ; $\delta y(i)$ - ошибка регулирования выходной координаты; $\delta c_j^p(i)$ - преобразованная действительная ошибка $c_j(i)$ вывода, связанная с отклонением выходной координаты от задания; $\delta c_j(i)$ - ошибка диагностирования текущего состояния коборга; k - коэффициент пропорциональности; $c_j(i)$ - производная функции преобразования, выраженная через нее саму.

2. С целью подавления измерительных помех, связанных с аномально большой погрешностью (грубыми выбросами), текущую оценку ошибки диагностирования $\delta c_j(i)$ целесообразно осуществлять с помощью робастного фильтра релейно-экспоненциального сглаживания, который производит "срезание" грубых данных, приводящим к аномально большим значениям невязки между этими данными и его прогнозом, полученных на основе обработки предыдущих данных. Тогда:

$$\delta c_j^p(i) = \delta c_j^p(i-1) + \alpha_j \left\{ \begin{array}{l} \delta c_j(i) \text{ при } |\delta c_j(i) - \delta c_j^p(i-1)| \leq \beta; \\ \beta \cdot \text{sign}[\delta c_j(i)] \text{ при } |\delta c_j(i) - \delta c_j^p(i-1)| > \beta; \end{array} \right. \quad (6)$$

где $\delta c_j^p(i)$, $\delta c_j^p(i-1)$ - оценки ошибки диагностирования в i -ый и $(i-1)$ временные отсчеты;

α_j - параметр сглаживания, определяющий скорость убывания ("забывания") экспоненциальной весовой функции;

β - параметр "срезки". Значение β обычно выбирается из расчета $(2-3) \cdot \sigma + \beta^*$, где β^* - максимально возможное приращение медленно меняющегося полезного сигнала $\delta c_j(i)$ за один шаг дискретного времени,

σ - среднеквадратическое отклонение обычной помехи (без учета грубых выбросов).

Отметим, что при установившемся режиме диагностирования, т.е. при больших значениях n , оценка (6) ошибки диагностирования доставляет минимум критерию средневзвешенного квадратичного ее отклонения от текущего значения [5]:

$$\sum_{i=0}^{\infty} \beta [\delta c_j^p(n-i) - \delta c_j(n-i)]^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

3. Передающая функция связи φ_{kj} от результирующего выходного сигнала c_j , отображающего коэффициент уверенности вывода CF_j , по каждому состоянию (расстройству) коборга из установленного списка $\{Q\}$, к текущему весу w_{kj} каждого ВПС "к" j -ой области состояния.

$$\varphi_{kj} = \frac{c_j}{w_{kj}} \cdot \text{th}(c_j) \quad (8)$$

Введение гиперболического тангенса в качестве функции преобразования обеспечивает возможность расчетов и корректировок в положительном и отрицательном интервале изменения коэффициента уверенности вывода CF_j .

4. Коррекция весов базы знаний производится по выражению:

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \frac{\delta_{спj}(i)\varphi_{kj}}{m} + \beta[w_{kj}(t) - w_{kj}(t-1)], \quad (9)$$

где: $w_{kj}(t)$, $w_{kj}(t+i)$, $w_{kj}(t-1)$ – весовые коэффициенты во втором слое сети БЗ по j -тому состоянию коборга;

" m " – число активированных (положительных и отрицательных) выходов первого слоя сети БЗ диагностирования, представляющих текущий совокупный вектор состояния коборга в дискретное время " i "; [$0 < \beta < 1$].

5. Области самообучения коборга и условия по реализации корректировок весов

В соответствии с концепцией коборг-технологии выявляются основные степени расстройства коборгов:

– симптоматическое расстройство коборга от кратковременного влияния внутренних или внешних возмущений, когда ликвидация возникающего расстройства или нежелательного изменения состояния коборга осуществляется за счет внутренних резервов самого объекта или применением симптоматических воздействий, направленных на подавление возникающего симптома расстройства;

– функциональное расстройство коборга, требующее выявления и устранения причины расстройства. В этом случае для поддержания целевой функции надо затрачивать дополнительные материальные, финансовые, трудовые или временные ресурсы до полной ликвидации выявленных причин расстройства;

При этом в случае затяжного расстройства, связанного, например, из-за явной или скрытой неисправности технических узлов или конструктивных недостатков агрегатов, неправильно заданных параметров технологического режима и т.д или в бизнес-деятельности такого типа расстройства возникают, например, из-за снижения платежеспособности, невозвращения займов и кредитов, затоваривания складов сырьем или готовой продукцией, увеличения сроков оборачиваемости дебиторской или кредиторской задолженности и др. .

– хроническое расстройство (заболевание) коборга, когда в силу различных причин значения основных показателей длительное время (год и более) находятся ниже запланированных, проектных или устанавливаемых величин. Эта ситуация требует уже значительных инвестиций и времени для капитальной реконструкции агрегатов, модернизации или реструктуризации компании.

Очевидно, что интерес для самообучения коборга представляют два первых случая, так как расстройства могут быть ликвидированы как самостоятельными оперативными мероприятиями, так и дополнительными доступными материальными и временными ресурсами.

Заключение

1. Применение коборг-технологии для оперативного диагностирования и управления в различных предметных областях позволило упростить представление знаний, оптимизировать число правил и повысить эффективность выводов.

2. Наличие функциональной зависимости между отклонением регулируемой выходной координаты и ошибкой диагностирования позволило реализовать алгоритм автоматической корректировки весов базы знаний диагностирования коборга.

3. Способность системы к самообучению позволяет легко адаптироваться к изменениям режима работы коборга, повысить точность диагностирования и улучшить управляемость процессами в различных предметных областях.

Библиографический список

1. Соловьев В.И., "Smart Coborg Systems". Материалы международной научно-практической конференции Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS-2011. г. Минск. 2011. с.487-492

2. Соловьев В.И. "Интеллектуальные системы диагностирования и управления коборгами". В сб. «Интеллектуальные системы» Труды Девятого международного симпозиума / Под ред. К.А. Пупкова. — М.: РУСАКИ. 2010. — 773 с

3. Соловьев В.И. "Интеллектуальная система управления сложными организованными"

ми объектами (коборгами) ". Патент на изобретение RU №2435187 С2, 27.11.2011.

4. "Представление и использование знаний". Пер. с япон. /Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука - М.: Мир, 1989. —220 с., ил.

5. В.П. Авдеев и др. Восстановительно-прогнозирующие системы управления. (Учебное пособие). Кемеровский государственный университет. Кемерово, 1984.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А.

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета "МИСиС",
г. Старый Оскол, Россия*

В настоящее время особенно актуальными становятся вопросы энергоэффективности работы производственных агрегатов. Подобным объектом, обладающим значительной энергоемкостью, в горно-обогатительной отрасли является шаровая мельница [1-3]. Решение задачи построения эффективной системы управления невозможно без построения адекватной математической модели [4]. Проблема состоит в том, что на данный момент не существует универсального метода разработки систем управления по причине затрудненности процесса построения модели. Это объясняется тем, что объект является многопараметрическим, на его выходные параметры оказывают влияние несколько входных переменных, которые, кроме того, взаимосвязаны между собой. Также наблюдается нестационарность объекта по причине изменения характеристик руды, параметров мельницы с течением времени [2,3]. В итоге, оператор не имеет инструмента оценки состояния и показателей работы объекта, что отрицательно сказывается на экономических показателях производительности [5,6,7].

Одним из методов идентификации технологического объекта на основе статистических данных является регрессионный анализ. Для его проведения использовались данные из реальной системы автоматизации, предварительно отфильтрованные при помощи алгоритма скользящего среднего и подвергнутые нормировке. Входными были выбраны такие параметры как вес руды, расход воды в мельницу и бутару мельницы; выходным параметром был выбран ток спирали классификатора, работающего в технологическом цикле после мельницы.

В качестве аппроксимирующих зависимостей нами были выбраны линейная и квадратичная функция, степенные и экспоненциальный полиномы, ряд Винера, известный как полином Колмогорова-Габова [8].

Для нахождения коэффициентов использовалась выборка размером 4500 точек. Для верификации модели на ее вход подавалась выборка объемом 500 точек за иной временной отрезок.

После нахождения коэффициентов полинома, в пакете Matlab была реализована модель шаровой мельницы на основе системы уравнений (1). В каналы входных воздействий, с целью придания динамики модели, были добавлены апериодические звенья, параметры которых были получены при обработке данных эксплуатации.

$$\begin{cases} 4.4 \cdot \frac{\partial a_1}{\partial t} + a_1 = x_1(t), \\ 12.1 \cdot \frac{\partial a_2}{\partial t} + a_2 = x_2(t), \\ 8.4 \cdot \frac{\partial a_3}{\partial t} + a_3 = x_3(t), \\ Y = f(a_1, a_2, a_3). \end{cases} \quad (1)$$

где x_1, x_2, x_3 – значения входных переменных,
 Y – значение выходного сигнала,
 a_1, a_2, a_3 – значения входов статической составляющей модели мельницы.

Оценка качества моделирования производилась на основе коэффициента корреляции (corr k) и значения функционала МНК (func МНК) реального и модельного графиков. Наилучший результат был достигнут при использовании полинома Колмогорова-Габора. Численные значения показателей качества приведены в таблице 1.

Затем, с целью повышения качества моделирования нами было принято решение разработать модель шаровой мельницы на основе аппарата нейронных сетей (НС). Нейронные сети обладают способностью аппроксимации нелинейных зависимостей и выявления скрытых взаимосвязей, что должно было повысить качество идентификации [1]. Типовая архитектура НС с прямым распространением информации, адаптированная к рассматриваемой задаче, представлена на рисунке 1.

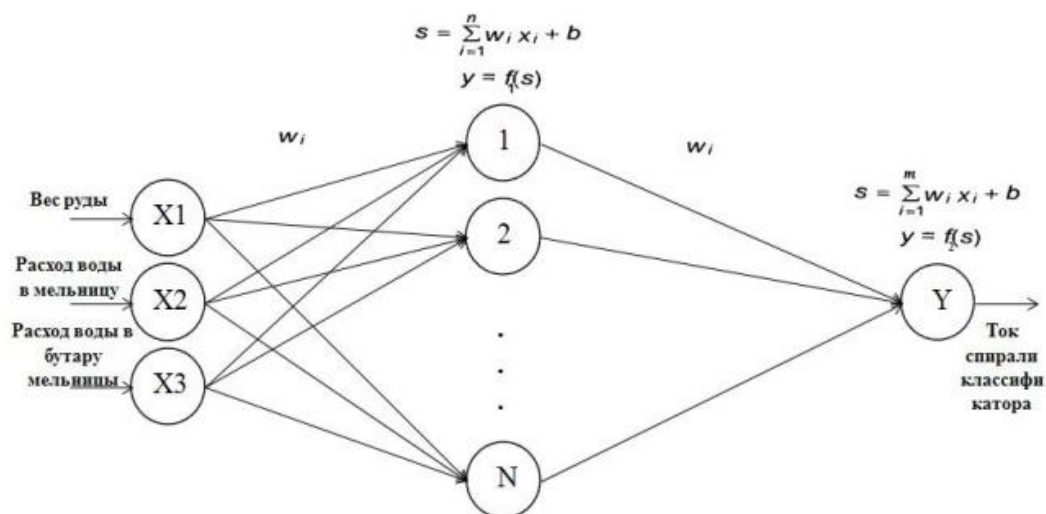


Рисунок 1 - Архитектура многослойной нейронной сети с прямым распространением информации

В ходе экспериментов были апробированы различные архитектуры НС. Выборки данных и алгоритм их применения для моделирования был аналогичен опытам с регрессионной моделью. Наиболее качественный результат был получен при использовании структуры НС с 3-мя скрытыми слоями с 55,50 и 45 нейронами соответственно. При этом значения численных показателей качества, при обучении НС были ниже, чем в опытах с меньшим числом слоев. Однако на тестовой выборке модель продемонстрировала лучшее качество работы. Последующее усложнение сети к повышению качества моделирования не привело.

Таблица 1 - Значения численных показателей качества моделирования

Метод построения модели	Обучающая выборка		Тестовая выборка	
	Значение func МНК	corr k	Значение func МНК	corr k
Регрессионный анализ на основе степенного полинома 5 порядка	107.961	0.5374	-	-
Регрессионный анализ на основе ряда Винера	49.9588	0.5821	8.3704	0.1011
Многослойная НС (2 скрытых слоя)	9.2839	0.9361	0.8752	0.8364
Многослойная НС (3 скрытых слоя)	12.0503	0.9161	0.7714	0.8585

Дальнейшим направлением работы предполагается применение радиально-базисных и рекуррентных НС, которые, предположительно, позволят повысить качество моделирования работы шаровой мельницы. Наличие достаточно точной и адекватной модели представляет возможность разработать систему управления, которая в условиях нелинейности и многосвязности параметров процесса сможет осуществлять управление объекта с заданными параметрами качества.

Исследование проведено при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации, договор №14.575.21.0133 (RFMEFI57517X0133).

Библиографический список

1. Пожарский Ю.М., Полещенко Д.А., Подковыров И.Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий // Горный журнал. - 2013. - №2 - с.115-118
2. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: «Недра», 1980. – 320 с.
3. Олейников В.А., Тихонов О.Н. Автоматическое управление технологическими процессами в обогатительной промышленности. – М.: «Недра», 1966. – 245 с.
4. Улитенко К.Я. Некоторые аспекты интеллектуального управления производительностью и качеством при обогащении железных руд// Обогащение руд.- 2006. - №6.- С. 33-37.
5. Umucu Y., Çağlar M.F., Gündüz L., Bozkurt V., Deniz V. Modeling of grinding process by artificial neural network for calcite mineral // 2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications. Istanbul, 2011, pp. 344-348.©2011 IEEE.
6. Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А. Идентификация многопараметрического технологического объекта управления//Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. - Старый Оскол: типография СТИ НИТУ "МИСиС", 2016. - С. 88-90.
7. Monov V., Sokolov B., Stoenchev S. Grinding in Ball Mills: Modeling and Process Control. Cybernetics and Information Technologies. Volume 12, Issue 2, Pages 51–68, ISSN (Online) 1314-4081, ISSN (Print) 1311-9702.
8. Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Сер. матем., т. 5:1, 1941. — С. 3-14.

МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ

Кунин П.Н., Рыбаков А.И.

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

Создание *прецизионных и повышенной точности электромеханических систем трехфазного тока с микропроцессорным управлением* невозможно без учета насыщения магнитной системы электродвигателей переменного тока. В работах [1, 2, 3], обобщающих состояние теории векторного управления, предлагается метод учета насыщения. Для использования метода необходимо располагать характеристикой намагничивания и индуктивностью рассеяния, которые не приводятся в паспорте электродвигателя, а экспериментальное построение характеристики намагничивания с достаточной точностью затруднительно. Кроме того, точность реализации систем в существенной мере зависит от точности расчета индуктивности рассеяния. Одновременно возрастает сложность метода из-за необходимости определения намагничивающего тока и индуктивности рассеяния, а также построения по точкам характеристики намагничивания обратной зависимости. Из изложенного следует, что метод не обес-

печивает реализацию моделей повышенной точности.

В данной работе решается задача построения модели асинхронного электродвигателя с нелинейной характеристикой намагничивания, что поставило перед необходимостью разработки модели во временной области без разложения на проекции осей комплексной плоскости. Это позволило существенно упростить модель, сделать ее легко читаемой.

Для решения поставленной задачи прежде всего отметим, что в анализируемых работах теория построена в предположении, что намагничивающее действие оказывает только реактивная составляющая тока в обмотке двигателя. Однако из учебников физики, например, [5], известно, что намагничивающее действие оказывает полный ток, протекающий во всех обмотках, связанных с магнитопроводом, чем бы эти токи не были вызваны.

Согласно [4] под воздействием гармонического трехфазного напряжения в обмотке статора протекает ток, который создает вращающееся магнитное поле. Созданное вращающееся поле индуцирует в обмотке ротора ЭДС, от действия которой в обмотке ротора протекает ток. Этот ток также создает вращающееся магнитное поле, которое объединяется с полем, индуцируемым током статора. Результирующему полю соответствует результирующая магнитодвижущая сила (МДС), равная сумме произведений первичного тока на число витков обмотки статора и тока ротора на число витков обмотки ротора. В приведенной машине число витков обмоток статора и ротора равны, и полный ток статора $I(t)$ равен сумме тока статора и приведенного тока ротора, что описывается уравнением

$$\psi(I(t)) = L_C(I) \cdot I(t), \quad (4)$$

где $I(t)$ - результирующий ток статора,

$L_C(I)$ - переменный коэффициент, связывающий полное потокосцепление $\psi(I(t))$ с полным током обмотки статора.

Полный ток статора легко поддается измерению. Это дает возможность использовать самоопределения объектом полного потокосцепления $\psi(I)$ по измеряемому току $I(t)$ и напряжению $U(t)$. С этой целью объект расширим интеллектуальным модулем на микроконтроллере и на его основе предложим новый метод построения модели объекта в предположении нелинейности кривой намагничивания с непосредственным учетом того, что намагничивающий ток и потокосцепление в каждом периоде синусоидального напряжения питания катушки изменяются от максимального (положительного) до минимального (отрицательного) значений с соответствующим изменением потокосцепления.

Учитывая, что потокосцепление является сложной функцией от тока $I(t)$:

$$\frac{d\psi(I(t))}{dt} = \frac{d\psi}{dI} \cdot \frac{dI}{dt}, \text{ можно записать}$$
$$L(I(t)) \frac{dI(t)}{dt} + R \cdot I(t) = U(t), \quad (5)$$

где

$$L(I) = d\psi(I(t)) / dI(t). \quad (6)$$

В предлагаемой модели используются два переменных коэффициента с размерностью индуктивности. Переменная $L_C(I)$ из (4) в работе [3] названа статической, а переменная $L(I)$ из (6) — дифференциальной индуктивностью. Из соотношения (3) следует, что статическая индуктивность ориентирована на расчет потокосцепления $\psi(I(t))$ по соответствующему току $I(t)$, а из дифференциального уравнения (5) - дифференциальная индуктивность определяет инерционность цепи или служит для вычисления индуцируемой ЭДС

$$E(t) = L(I(t)) \cdot dI(t) / dt.$$

В работах [1, 2] используется только статическая индуктивность. Считать это грубой ошибкой неуместно. Основы теории векторного управления создавались исходя из предположения, что при векторном управлении машина работает без глубокого насыщения и ошибка от линейной аппроксимации в системах с относительно невысокими требованиями является приемлемой.

Дифференцируя (4) по I получим:

$$\frac{d\psi}{dI} = L_c(I) + I \frac{dL_c(I)}{dI}. \quad (7)$$

При линейной характеристике намагничивания (прямая Os на рисунке 1) индуктивность в соответствии с (4) величина постоянная, второе слагаемое в уравнении (7) равно нулю. Сопоставление $L_c(I)$ из (7) с $L(I)$ из (6) показывает, что *при линейной аппроксимации характеристики намагничивания статическая индуктивность совпадает с динамической* $L(I) = L_c(I)$, в случае нелинейной зависимости такого совпадения нет (7).

В [4] показана идентичность переходных процессов в асинхронных двигателях и в трансформаторах, причем максимальное значение потокосцепления ψ_m может превышать рабочее в два и более раз. Ток I , необходимый для создания такого потокосцепления, определяется по кривые намагничивания. На рисунке 1 точки r и b на кривой соответствуют номинальному ψ_n (pr) и $1.25\psi_n$ номинального значения потокосцепления. Изменение потокосцепления на $1/4$ (bc) вызвано изменением тока в четыре раза (pI). Процесс усугубляется, если произойдет более глубокое насыщение или пуск происходит под нагрузкой. Пока ток двигателя меньше тока нагрузки, двигатель остается застопоренным, что эквивалентно увеличению времени режима заторможенного электродвигателя (короткое замыкание).

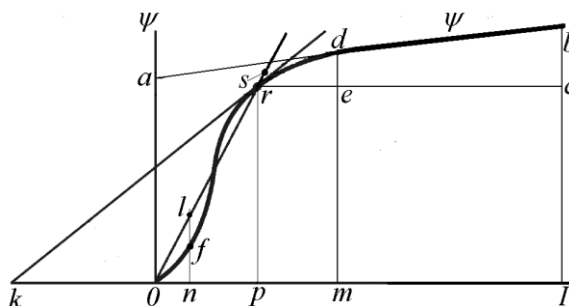


Рисунок 1 — Взаимосвязь тока I и потокосцепления ψ

При частотном управлении при пуске частота нарастает, начиная от нулевого значения, при этом индуктивное сопротивление в начальный момент равно нулю. Рабочая точка перемещается на участок глубокого насыщения и ток достигает значений, превышающих значения при рабочей частоте.

Как и в работах [1, 2] при построении модели используем результирующие вектора. Особенность нашего подхода в том, что не используем проекции результирующих векторов на действительную и мнимую оси комплексной плоскости, а остаемся в естественных координатах, причем для соединения с двигателем результирующие векторы относим к фазе A , а фазы B и C формируем фазовым сдвигом фазы A соответственно на 120° и 240° .

Поскольку $L(I) > 0$ и непрерывная, уравнение (5) приведем к виду

$$\frac{dI(t)}{dt} + \frac{R \cdot I(t)}{L(I)} = \frac{U(t)}{L(I)}. \quad (8)$$

Представим переменную $I(t)$ как произведение двух переменных

$$I(t) = x(t) \cdot y(t) \quad (9)$$

продифференцируем функцию (9) и ее производную

$$\frac{dI(t)}{dt} = x(t) \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) \cdot \frac{dx(t)}{dt} \quad (10)$$

подставим в (8) и сгруппируем члены:

$$x(t) \cdot \left(\frac{dy(t)}{dt} + y(t) \cdot \frac{R}{L(t)} \right) + y(t) \cdot \frac{dx(t)}{dt} = \frac{U(t)}{L(I)}. \quad (11)$$

Потребуем, чтобы функция $y(t)$ удовлетворяла равенство нулю выражения в круглых скобках уравнения (11), при этом уравнение (11) принимает следующий вид:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{U(t)}{L(I)y(t)}. \quad (12)$$

Разделяя переменные получим:

$$\frac{dy(t)}{y(t)} = -\frac{R}{L(I)} \cdot dt. \quad (13)$$

Традиционно интегрирование последнего уравнения выполняется с представлением постоянной интегрирования в логарифмической форме $\ln C_1$, в результате получим

$$I(t) = e^{-\int \frac{R}{L(I)} dt} \cdot \left(\int \frac{U_S(t)}{L(I)} \cdot e^{\int \frac{R}{L(I)} dt} \sin(\omega(t) \cdot t + \varphi) dt + C \right), \quad C = C_1 C_2. \quad (14)$$

Функцию (14) необходимо преобразовать к виду, удобному для программирования в микропроцессорных системах. В функцию (14) входят нелинейно зависящий от тока I положительный параметр $L(I)$ и управляющие функции времени $U_S(t)$ и $\omega(t)$, поэтому интегралы в (14) не представимы в элементарных функциях. В то же время современные системы управления строятся на основе микропроцессорной техники с частотой дискретизации $f_d \geq 10$ кГц, так что переменный параметр $L(I)$ на интервале дискретизации $nT \leq t \leq (n+1)T$, $n=0, 1, 2, 3, \dots, n$ изменяется незначительно.

Управляющие воздействия $U_S(t)$ и $\omega(t)$, в отличие от параметра $L(I)$ могут претерпевать быстрые, вплоть до скачкообразных, изменения. Но благодаря инерционности объекта и малой длительности интервала дискретизации скачкообразные изменения за интервал дискретизации не приводят к существенным изменениям состояния объекта. Поэтому можно принять, что как $L(I)$, так и $U_S(t)$ и $\omega(t)$ в течение каждого интервала дискретизации $nT \leq t \leq (n+1)T$ остаются постоянными, а изменения происходят скачкообразно только в дискретные моменты времени $t=nT$, $n=0, 1, 2, 3, \dots, n$. Таким образом область применимости функции (20) ограничивается одним периодом дискретизации $nT \leq t \leq (n+1)T$, так что предоставляется возможность вводить изменения $L(I)$, $U_S(t)$ и $\omega(t)$ в начале очередного периода дискретизации. При этом функция (14) принимает вид:

$$I(t) = e^{-\int \frac{R}{L_n} dt} \left(\int \frac{U_{Sn}}{L_n} e^{\int \frac{R}{L_n} dt} \sin(\omega_n t + \varphi) dt + C \right), \quad nT \leq t \leq (n+1)T,$$

Поскольку на каждом интервале дискретизации L_n , U_{Sn} и ω_n величины постоянные, вычислим первообразные подынтегральных функций в показателях экспонент, а также вынесем постоянный множитель U_{Sn}/L_n за знак интеграла. В результате уравнение приведем к виду:

$$I(t) = e^{-\frac{R}{L_n}t} \left(\frac{U_{Sn}}{L_n} F(t) + C \right), \quad nT \leq t \leq (n+1)T, \quad n=0, 1, 2, 3, \dots, n. \quad (15)$$

где

$$F(t) = \int e^{\frac{R}{L_n}t} \sin(\omega_n t + \varphi) dt. \quad (16)$$

Первообразную $F(t)$ из (16) на интервале дискретизации $nT \leq t \leq (n+1)T$ вычислим методом интегрированием по частям [5, 6],

В подынтегральной функции неопределенного интеграла (16) обозначим

$$y = e^{\frac{R}{L_n}t}, \quad dx = \sin(\omega_n t + \varphi) dt.$$

Для интегрирования по частям определим дифференциал dy и переменную x :

$$dy = \frac{R}{L_n} e^{\frac{R}{L_n}t} dt, \quad x = -\frac{\cos(\omega_n t + \varphi)}{\omega_n}.$$

Выражения для y , dy , x и dx подставим в исходную функцию:

$$F(t) = \frac{1}{\omega_n} \left(-e^{\frac{R}{L_n}t} \cdot \cos(\omega_n t + \varphi) + \frac{R}{L_n} \int e^{\frac{R}{L_n}t} \cdot \cos(\omega_n t + \varphi) dt \right). \quad (17)$$

Подставив выражение для $F(t)$ в (15), будем иметь:

$$I(t) = \frac{U_{Sn}}{\sqrt{\omega_n^2 L_n^2 + R^2}} \sin(\omega_n t + \varphi - \theta_n) + C e^{-\frac{R}{L_n}t}, \quad nT \leq t \leq (n+1)T. \quad (18)$$

Исходя из начальных условий $I(t) = 0$, $t=n=0$, найдем:

$$C = -\frac{U_{S0}}{\sqrt{\omega_0^2 L_0^2 + R^2}} \sin(\varphi - \theta_0) = const. \quad (19)$$

Используя функцию (18) запишем выражения для тока $I(t)$ в момент времени $t=nT$, соответствующий как концу интервала $(n-1)T \leq t \leq nT$, так и началу интервала $nT \leq t \leq (n+1)T$:

$$I(nT) = \frac{U_{Sn-1}}{\sqrt{\omega_{n-1}^2 L_{n-1}^2 + R^2}} \sin(\omega_{n-1} nT + \varphi - \theta_{n-1}) + C e^{-\frac{R}{L_{n-1}}nT}, \quad (n-1)T \leq t \leq n \quad (20)$$

$$I(nT) = \frac{U_{Sn}}{\sqrt{\omega_n^2 L_n^2 + R^2}} \sin(\omega_n nT + \varphi - \theta_n) + C e^{-\frac{R}{L_n}nT}, \quad nT \leq t \leq (n+1)T. \quad (21)$$

Неравенство правых частей функций (20) и (21) свидетельствует о нарушении закона непрерывности тока через индуктивность. Объясняется нарушение тем, что в первую функцию входят только переменные $U_S=U_{Sn}$, $\omega=\omega_n$, $L=L_n$ соответствующие текущему $nT \leq t$

$\leq (n+1)T$ интервалу, а во вторую функцию - переменные $U_S=U_{Sn-1}$, $\omega = \omega_{n-1}$ и $L = L_{n-1}$, соответствующие только предыдущему $(n-1)T \leq t \leq nT$ интервалу. В обоих уравнениях процессы протекают так, как будто с начального момента времени $t=0$ действуют константные значения $U_S=U_{Sn}$, $\omega = \omega_n$ и $L = L_n$ текущего интервала $nT \leq t \leq (n+1)T$ в первом уравнении и константные значения переменных $U_S=U_{S(n-1)}$, $\omega = \omega_{n-1}$, $L = L_{n-1}$ предыдущего интервала $(n-1)T \leq t \leq nT$ во втором уравнении, предыдущие значения на текущие процессы влияния не оказывают. Не учет влияния предыстории процессов и является причиной нарушения закона непрерывности.

Таким образом, простое изменение переменных $U_S=U_{Sn}$, $\omega = \omega_n$ и $L = L_n$ в начале каждого интервалы дискретизации $nT \leq t \leq (n+1)T$ задачи не решает. Для исключения скачков тока при переходе с предыдущего интервала дискретизации к текущему представляется целесообразным на каждом интервале дискретизации определять приращение тока и добавлять его значение к значению тока в конце предыдущего интервала.

Для вычисления приращения тока на интервале $nT \leq t \leq (n+1)T$ воспользуемся функцией (18), подставим значение времени конца интервала $t=(n+1)T$:

$$I((n+1)T) = \frac{U_{Sn}}{\sqrt{\omega_n^2 L_n^2 + R^2}} \sin(\omega_n (n+1)T + \varphi - \theta_n) + Ce^{-\frac{R}{L_n}(n+1)T} \quad (22)$$

и вычтем из (22) функцию (21):

$$\begin{aligned} \Delta I_n = I((n+1)T) - I(nT) = & \frac{U_{Sn}}{\sqrt{\omega_n^2 L_n^2 + R^2}} [\sin(\omega_n (n+1)T + \varphi - \theta_n) - \\ & - \sin(\omega_n nT + \varphi - \theta_n) + Ce^{-\frac{R}{L_n}nT} (1 - e^{-\frac{R}{L_n}T})] \end{aligned} \quad (23)$$

С учетом приращения ΔI_n из (23) значение тока I_{n+1} в точке $t=(n+1)T$ определится из соотношения:

$$I_{n+1} = I_n + \Delta I_n$$

Теперь имеем все данные для разработки алгоритма определения тока статора асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором для реализации программы в среде разработки компании Texas Instruments Code Composer Studio v.5.4.

Библиографический список

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 272 с.
2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты [Текст] / Р.Т. Шрейнер. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
3. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники [Текст] / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровин: Учебник для вузов. 5-е изд. Т. 2. — СПб.: Питер, 2009. — 432 с.
4. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. — СПб.: Питер, 2008. — 350 с.: ил.
5. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие в 3-х т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. — 3-е изд., испр. [Текст] / И.В. Савельев — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 496 с.

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Новосельцева М.А., Гугова С.Г., Хорошева Т.А., Казакевич И.А.

*Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия*

При синтезе, проектировании и исследовании образцов новой техники, технологических процессов, систем контроля, диагностики, управления сложных объектов возникает необходимость исследования их функционирования под влиянием стохастических воздействий. Примерами таких технических объектов являются горные, строительные, транспортные, сельскохозяйственные, землеройные и другие машины, которые испытывают при работе воздействия различных случайных факторов. Эти факторы влияют на нагрузку, скорость движения, производительность и надежность механизмов. Случайный характер нагружения такого рода объектов может обуславливаться неоднородностью грунта, неровностью поверхности, наличием сверхтвердых включений и трещин, характером работы и т.п. Если влияние таких случайных факторов значительно, то необходимо учитывать их воздействие на нагрузку механизма и его электропривода. Традиционные детерминистические методы исследования, не учитывающие фактор случайности воздействий на объект управления, могут привести к существенным неточностям и даже ошибкам в расчетах, поэтому проблема эффективного функционирования и повышения надежности работы силовых электроприводов не может быть решена без учета случайного характера внешних воздействий. При этом проведение экспериментальных и теоретических исследований таких объектов зачастую затруднительно ввиду их сложности и затратности. Использование методов цифрового имитационного моделирования случайных процессов нагружения силовых электроприводов позволит оценить возможную нагрузку механизмов еще на стадиях их разработки и испытаний, а также найти дополнительные резервы повышения производительности при достаточной надежности.

Воспользуемся алгоритмами непрерывных дробей для имитационного моделирования нагрузок электроприводов [3]. Известно, что случайный процесс нагружения $y(t)$ силового электропривода почвообрабатывающего агрегата описывается корреляционной функцией [2]

$$R_{yy}(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} (\cos \omega_0 \tau + C \sin \omega_0 \tau), \quad (1)$$

где σ^2 – дисперсия случайного процесса,

ω_0 , C , α – параметры корреляционной функции. Параметр α характеризует интенсивность затухания корреляционной функции, а параметр ω_0 – частоту периодической составляющей случайного процесса.

Зададим значения $\sigma^2 = 1$, $\alpha = 2$, $\omega_0 = 6$, $C = 0,2$. Цифровое моделирование данного случайного процесса нагружения $y(t)$ сводится к построению его дискретной модели в форме конечно-разностного уравнения и к имитационному моделированию $y(k\Delta t)$ на ЭВМ, где $k = 0, \dots, N$; Δt – шаг дискретизации [3]. Подход к моделированию случайных процессов на основе теории непрерывных дробей подробно описан в [3, 5] и ориентирован на использование средств вычислительной техники. Данный подход имеет ряд преимуществ по сравнению с другими разработанными методами, что также описано в [3]. Проведенные ранее исследования позволили разработать алгоритм цифрового моделирования случайных процессов с заданной корреляционной функцией и реализовать его в автоматизированной информационной системе (АИС) «Цифровое моделирование случайных процессов» [6].

Воспользуемся АИС для моделирования случайного процесса нагружения электропривода почвообрабатывающего агрегата с корреляционной функцией (1). Началом работы с

программой является диалоговое окно выбора одной из типовых корреляционных функций [5] (рисунок 1).

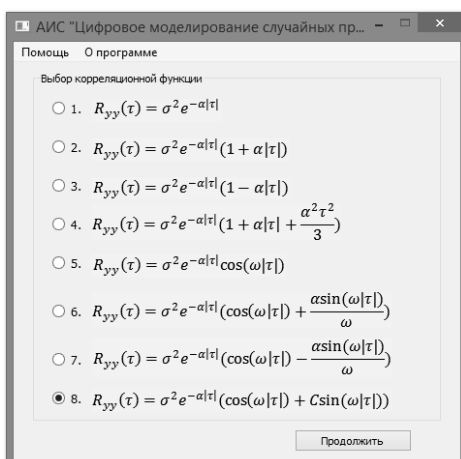


Рисунок 1 - Начальное окно работы АИС

На следующем шаге работы программы необходимо ввести параметры корреляционной функции (α , σ^2 , ω_0 , C) (рисунок 2).

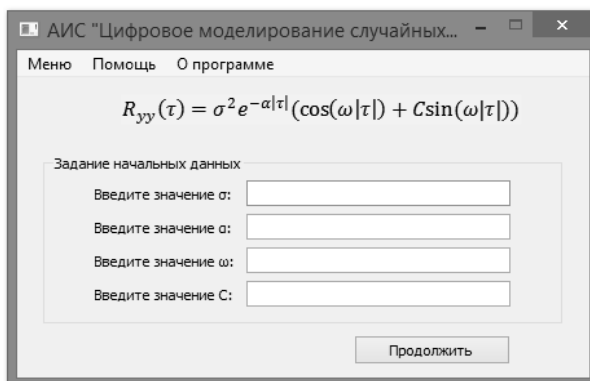


Рисунок 2 - Окно задания параметров корреляционной функции

В основном диалоговом окне осуществляется ввод шага дискретизации Δt , количества значений моделируемого случайного процесса и его корреляционной функции (рисунок 3). Также в данном окне выводится полученное конечно-разностное уравнение для моделирования случайного процесса, значения критериев точности моделирования и активируются две кнопки для вывода графиков полученных результатов: графика случайного процесса и графика его корреляционной функции.

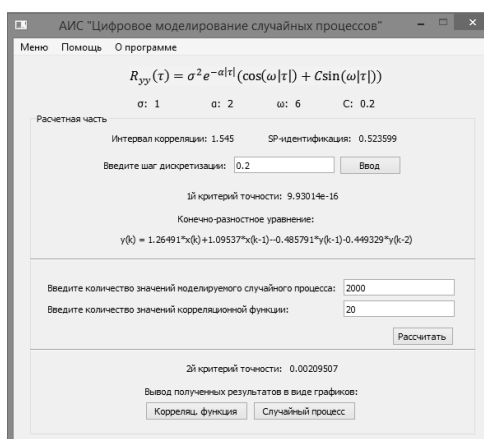


Рисунок 3 - Основное диалоговое окно АИС

На рисунке 4 представлены результаты моделирования случайного процесса нагружения силового электропривода почвообрабатывающего агрегата. Результаты выводятся на экран а также сохраняются формате .xls для дальнейшей обработки и использовании в расчетах.

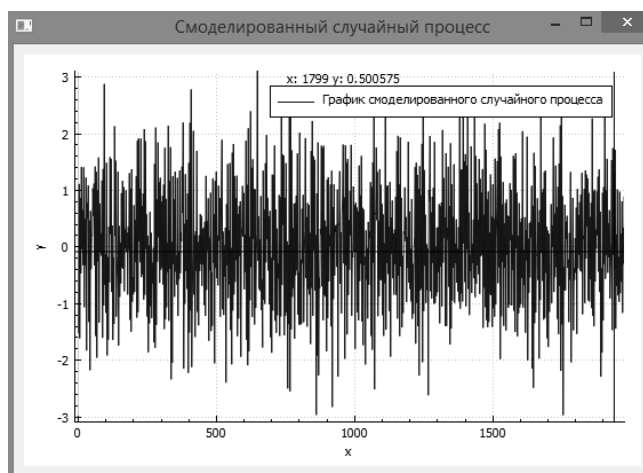


Рисунок 4 - График результатов моделирования процесса нагружения силового электропривода почвообрабатывающего агрегата

Полученные результаты моделирования процесса нагружения силового электропривода почвообрабатывающего агрегата могут далее использоваться для изучения динамики взаимодействия рабочего органа агрегата с почвой. Приведенную методику можно использовать также при моделировании нагрузок силовых электроприводов других машин и механизмов, при решении задач оптимизации режимов работы машин, а также на стадиях разработки, изготовления новых опытных образцов.

Библиграфический список

1. Барте́нев И.М., Поздняков Е.В. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин // Лесотехнический журнал. – 2013. – №3. – С. 114–123.
2. Гайдукевич В.И., Титов В.С. Случайные нагрузки силовых электроприводов. – М.: Энергоавтомиздат, 1983. –160с.
3. Карташов В.Я., Новосельцева М.А. Цифровое моделирование стационарных случайных процессов с заданной корреляционной функцией на основе непрерывных дробей // Управление большими системами. – 2010. – Вып. 31. – С.49–91.
4. Лурье А.Б, Любимов А. И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. – Ленинград. – Машиностроение, 1981. – 270 с.
5. Новосельцева М.А., Хорошева М.А., Гутова С.Г. Автоматизированная информационная система цифрового моделирования стационарных случайных процессов алгоритмами непрерывных дробей // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т. 13. № 2. – С. 14-19.
6. Новосельцева М.А., Хорошева М.А., Гутова С.Г., Казакевич И.А., Голубчиков В.А. Цифровое моделирование случайных процессов. Свидетельство о государственной регистрации (Роспатент) программы на ЭВМ № 2017615356 от 15.05.2017

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОДЕЛЬ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю.

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

Машиной двойного питания (МДП) в общем случае называется схема включения асинхронного двигателя с фазным ротором, в которой на ротор подается напряжение от внешнего источника с возможностью регулирования амплитуды, частоты и фазы этого напряжения [1]. Применение МДП имеет значительные преимущества перед использованием асинхронного двигателя с фазным ротором и роторной станцией, поскольку позволяет управлять потоком энергии скольжения и добиваться высоких показателей энергоэффективности. Для управления МДП в системах управления электропривода необходимо построение ее математической модели. Задачей данной работы является получение простой модели МДП, пригодной для вышеуказанных целей.

Математическое описание машины двойного питания весьма сложно, поскольку момент машины является нелинейной функцией токов обмоток статора и ротора, вследствие чего его идентификация затруднена. Кроме того, из-за наличия в роторе источника добавочного напряжения методы математического моделирования, хорошо подходящие для описания асинхронного двигателя с источником напряжения только в статоре, непригодны для описания МДП.

В работах [1] и [2] предложен способ моделирования МДП с использованием метода ортогональной самоориентирующейся системы координат. Как показано в [2], при использовании данного метода и выборе в качестве опорного изображающего вектора тока статора, модель МДП записывается в виде системы уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{Sg} = \frac{1/R_S}{T_S p + 1} (u_{Sg} + pL_{\mu}i_{Rg} + \omega_g L_{\mu}i_{Ri}) \\ i_{Rg} = \frac{1/R_R}{T_R p + 1} (u_{Rg} - pL_{\mu}i_{Sg} + \omega_g sL_{R}i_{Ri}) \\ i_{Ri} = \frac{1/R_R}{T_R p + 1} (u_{Ri} + \omega_g sL_{R}i_{Rg} - \omega_g sL_{\mu}i_{Sg}) \\ M = \frac{3}{2} z_{\Pi} L_{\mu} i_{Sg} i_{Ri} \\ M - M_C = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где i_{Sg} – проекция изображающего вектора тока статора на ось g вращающейся ортогональной системы координат $g-i$,

i_{Rg}, i_{Ri} – проекции изображающего вектора тока ротора на оси g и i вращающейся ортогональной системы координат $g-i$ соответственно;

u_{Sg}, u_{Si} – проекции изображающего вектора напряжения на статоре на оси g и i вращающейся ортогональной системы координат $g-i$ соответственно;

u_{Rg}, u_{Ri} – проекции изображающего вектора напряжения на статоре на оси g и i вращающейся ортогональной системы координат $g-i$ соответственно;

T_S, T_R – электромагнитные постоянные времени статора и ротора соответственно;

R_S, R_R – активные сопротивления статора и ротора соответственно;

L_μ – индуктивность намагничивания машины;

z_{II} – число пар полюсов машины;

M, M_c – электромагнитный момент машины и момент нагрузки соответственно;

J_Σ – суммарный приведенный к ротору машины момент инерции рабочего механизма;

ω – угловая скорость вращения ротора машины;

ω_g – угловая скорость вращения системы координат, для выбранной системы определяемая по выражению $\omega_g = 2\pi f_c$, где f_c – частота напряжения на статоре;

s – скольжение, определяемое по выражению $s = \frac{\omega_g - \omega}{\omega_g}$;

p – оператор дифференцирования.

Системе уравнений (1) в соответствие может быть поставлена структурная схема МДП, приведенная на рисунке 1.

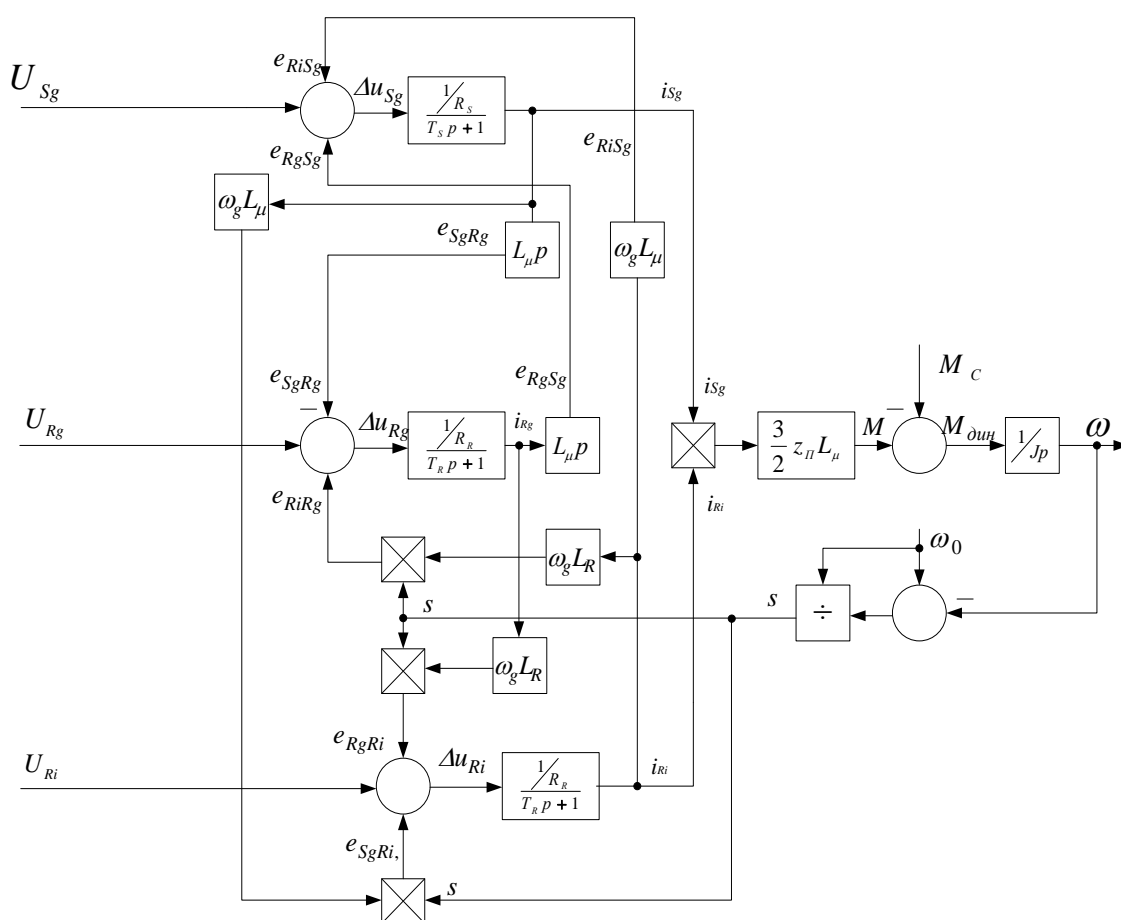


Рисунок 1 – Структурная схема машины двойного питания в системе координат, связанной с током статора

Структурная схема МДП, приведенная на рисунке 1, хотя и имеет простые передаточные функции для обмоток, обладает недостатком – наличием перекрестных обратных связей, соответствующих взаимному влиянию обмоток фаз статора и ротора машины (магнитной связи через сердечники и воздушный зазор и наводимой ЭДС). В [1] доказано, что уравнения электрического равновесия АД по осям системы координат могут быть записаны в операторной форме в следующем виде:

$$u = \frac{1}{k_\Sigma} (T_\Sigma p + 1) \cdot y + f_K(i_S, i_R, \bar{\psi}_S, \bar{\psi}_R, f_R), \quad (2)$$

где u – проекция обобщенного вектора напряжения статора или ротора на соответствующую ось ортогональной системы координат,

T_s – эквивалентная постоянная времени машины;

k_s – эквивалентный коэффициент усиления машины;

i – проекция обобщенного вектора тока статора или ротора на соответствующую ось ортогональной системы координат;

$f_K(\bar{i}_S, \bar{i}_R, \bar{\psi}_S, \bar{\psi}_R, f_R)$ – функция компенсации взаимного влияния фазных обмоток статора и ротора, зависящая от выбранной системы координат.

Таким образом, при условии определения составляющей $f_K(\bar{i}_S, \bar{i}_R, \bar{\psi}_S, \bar{\psi}_R, f_R)$ и уравнивании взаимного влияния фаз с ее помощью, перекрестные обратные связи в структуре, приведенной на рисунке 1, устраняются, а передаточные функции по координатным осям для регулируемых координат просты и эквивалентны апериодическому звену первого порядка.

Взаимное влияние фаз статора и ротора в общем случае обусловлено ЭДС, наводимыми обмотками разноименных фаз статора и ротора между собой. При условии, что фазы статора и ротора машины симметричны и токи и напряжения в обмотках синусоидальны, можно считать, что указанные ЭДС малы по величине по сравнению с ЭДС, наводимыми обмотками фаз статора в обмотках одноименных фаз ротора и наоборот. Таким образом, можно считать, что указанное выше взаимное влияние фаз уравнивается, что позволяет упростить предлагаемую математическую модель МДП и получить более простую эквивалентную модель машины.

Сигналы уравнивания взаимного влияния фаз в выбранной системе координат в соответствии с изложенными выше соображениями, вычисляются по выражениям (3):

$$\begin{aligned} \Sigma e_{RgSg} &= L_\mu \frac{di_{Rg}}{dt}, \Sigma e_{RiSg} = L_\mu \omega_g i_{Ri}, \Sigma e_{SgRg} = L_\mu \frac{di_S}{dt}, \\ \Sigma e_{RiRg} &= \omega_g s L_R i_{Ri}, \Sigma e_{RgRi} = \omega_g s L_R i_{Rg}, \Sigma e_{SgRi} = \omega_g s L_\mu i_{Sg}, \end{aligned} \quad (3)$$

где Σe – сигнал уравнивания ЭДС;

индекс S – обмотка статора;

индекс R – обмотка ротора;

индекс g – обмотка на оси g двухфазной модели МДП;

индекс i – обмотка на оси i двухфазной модели МДП.

Структурная схема МДП с уравниванием ЭДС составляется на основе схемы, приведенной на рисунке 1. При этом сигналы (3) должны суммироваться с соответствующими сигналами ЭДС и иметь противоположный знак.

Структурная схема МДП с уравниванием ЭДС приведена на рисунке 2.

С учетом выражений (3) и знаков компенсирующих воздействий справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \Sigma e_{RgSg} &= -e_{RgSg}, \Sigma e_{RiSg} = -e_{RiSg}, \Sigma e_{SgRg} = -e_{SgRg}, \\ \Sigma e_{RiRg} &= -e_{RiRg}, \Sigma e_{RgRi} = -e_{RgRi}, \Sigma e_{SgRi} = -e_{SgRi}, \\ k_\partial &= L_\mu \frac{U_{Sg}}{R_S}. \end{aligned} \quad (4)$$

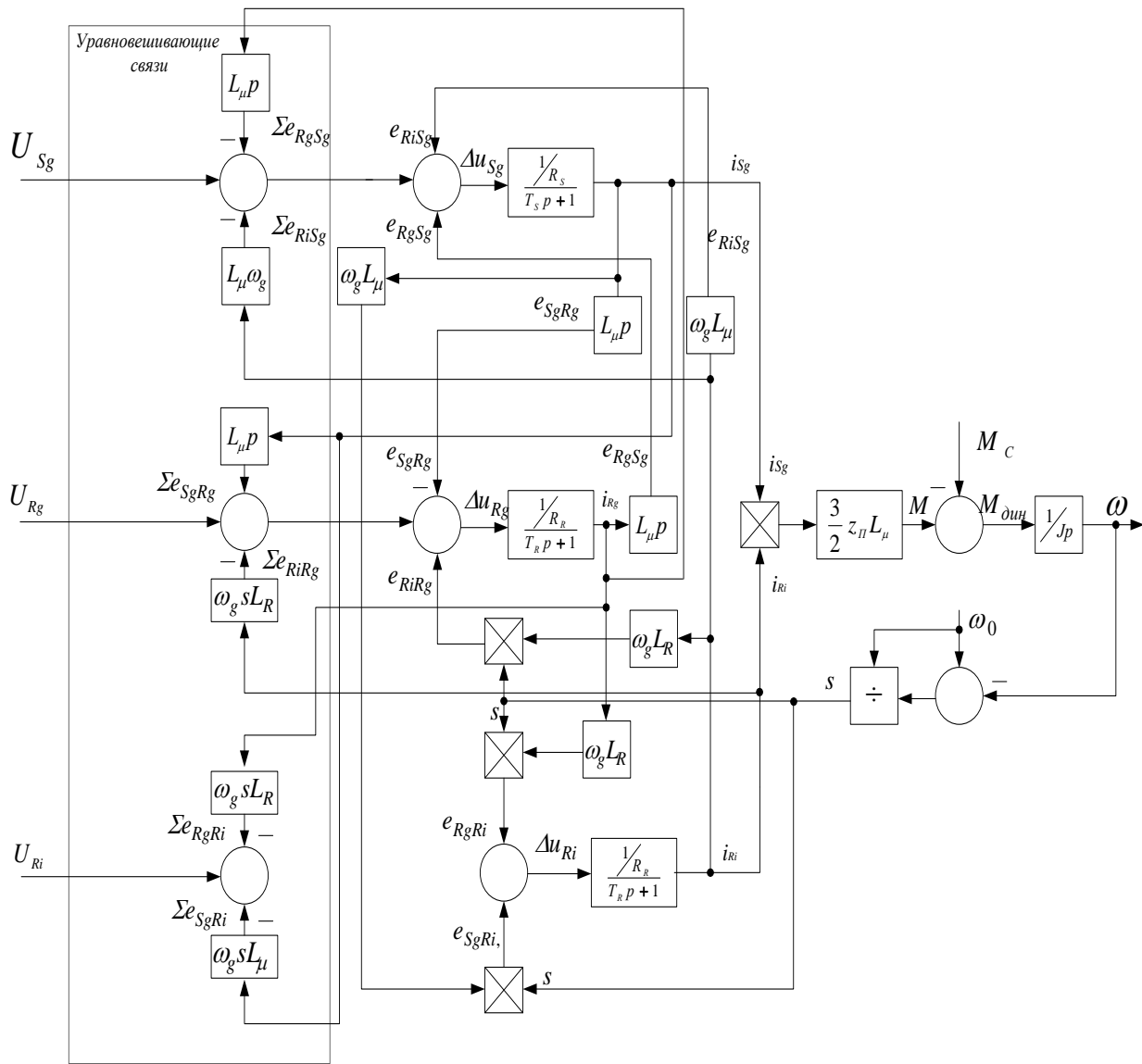


Рисунок 2 – Структурная схема МДП с уравниванием ЭДС

Структурная схема МДП при постоянстве напряжения на статоре и соблюдении условия (4) принимает вид, показанный на рисунке 3.

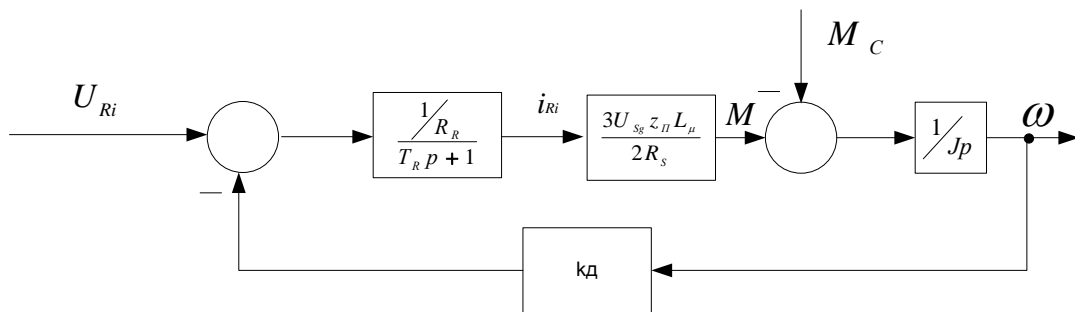


Рисунок 3 – Эквивалентная структурная схема машины двойного питания

Структурная схема, приведенная на рисунке 3, полностью описывает процессы электромеханического преобразования в МДП.

В соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3, передаточная функция для скорости МДП в системе координат, связанной с изображающим вектором статора машины при компенсации взаимного влияния фаз и постоянстве напряжения на статоре имеет вид:

$$\frac{\omega(p)}{u_{Ri}(p)} = \frac{3U_{Sg}z_{\Pi}L_{\mu}}{2J_{R}R_{S}T_{R}p^2 + 2J_{R}R_{S}p + 3\frac{\omega_g}{R_{S}\omega_0}U_{Sg}^2z_{\Pi}L_{\mu}^2} =$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{U_{Sg}L_{\mu}\omega_g}{R_{S}\omega_0}\right)} \cdot \frac{2J_{R}R_{S}T_{R}}{3\frac{\omega_g}{R_{S}\omega_0}U_{Sg}^2z_{\Pi}L_{\mu}^2} p^2 + \frac{2J_{R}R_{S}}{3\frac{\omega_g}{R_{S}\omega_0}U_{Sg}^2z_{\Pi}L_{\mu}^2} p + 1$$

Введя механическую постоянную времени МДП $T_M = \frac{2J_{R}R_{S}}{3\frac{\omega_g}{R_{S}\omega_0}U_{Sg}^2z_{\Pi}L_{\mu}^2}$,

и эквивалентный коэффициент передачи МДП $k_{\mathcal{E}} = \frac{1}{\left(\frac{U_{Sg}L_{\mu}\omega_g}{R_{S}\omega_0}\right)}$, получим:

$$\frac{\omega(p)}{u_{Ri}(p)} = \frac{k_{\mathcal{E}}}{T_M T_R p^2 + T_M p + 1}. \quad (5)$$

Передаточная функция момента с учетом введенных выше обозначений имеет вид:

$$\frac{M(p)}{u_{Ri}(p)} = \frac{T_M/J (T_R p + 1)}{T_M T_R p^2 + T_M p + 1}. \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) следует, что при принятых допущениях передаточные функции для скорости и электромагнитного момента машины имеют простой вид, удобный для применения в системе управления электроприводом.

Библиографический список

1. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания [Текст] / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
2. Островлянчик В. Ю., Поползин И. Ю. Асинхронный электропривод шахтной подъемной установки, построенный по схеме машины двойного питания с комбинированным управлением [Текст] / В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. - №2. – С. 303-309.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ

Островлянчик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.

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

На основании уравнений электрического равновесия обмоток машины двойного питания получены и проанализированы выражения для механической и электромеханической характеристик машины в асинхронном режиме.

Важнейшими характеристиками машины двойного питания (МДП) являются ее механические и электромеханические характеристики. Именно они определяют пригодность ее применения в технологическом процессе подъема и необходимые режимы работы машины.

В соответствии с [1], [2], [3] уравнения электрического равновесия обмоток машины относительно потокосцеплений обмоток запишутся как:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = j\omega_0 \bar{\Psi}_S + \bar{I}_S R_S, \\ \bar{U}_R = j\omega_0 s \bar{\Psi}_R' + \bar{I}_R' R_R'. \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{U}_S, \bar{U}_R – комплексные значения напряжений на статоре и роторе соответственно;

\bar{I}_S, \bar{I}_R' – комплексные значения тока статора и приведенного тока ротора соответственно;

$\bar{\Psi}_S, \bar{\Psi}_R'$ – комплексные значения потокосцепления статора и приведенного потокосцепления ротора соответственно;

R_S, R_R' – активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора соответственно;

L_S, L_R, L_μ – индуктивности статора, ротора и намагничивания соответственно;

ω_0 – скорость вращения магнитного поля статора;

s – скольжение;

z_{II} – число пар полюсов машины;

M – электромагнитный момент машины.

Определим момент как функцию векторного произведения потокосцеплений обмоток статора и ротора:

$$M = -\frac{3}{2} z_{II} \frac{L_\mu}{L_S L_R - L_\mu^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \quad (2)$$

Обозначим угол сдвига фаз между напряжением на статоре и напряжением, подведенным к ротору, как δ и примем, что начальная фаза вектора напряжения на статоре машины \bar{U}_S равна 0. В этом случае комплексное значение напряжения на роторе определяется как:

$$\bar{U}_R = U_R e^{j\delta}. \quad (3)$$

Введем коэффициент рассеяния машины:

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_S L_R} \quad (4)$$

и запишем выражения для связи токов и потокосцеплений обмоток машины:

$$\begin{cases} \bar{I}_S = \frac{1}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_S - \frac{k_R}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_R \\ \bar{I}_R = -\frac{k_S}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_S - \frac{1}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_R, \end{cases} \quad (5)$$

где k_S, k_R – коэффициенты связи статора и ротора соответственно.

Подставив выражения для токов (5) и момента (2) в систему (1), получим:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = \left(\frac{R_S}{\sigma L_S} + j\omega_0 \right) \bar{\Psi}_S - \frac{R_S k_R}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_R, \\ \bar{U}_R = -\frac{R_R k_S}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_S + \left(\frac{R_R}{\sigma L_R} + j\omega_0 s \right) \bar{\Psi}_R, \\ M = -\frac{3}{2} p_{II} \frac{L_{\mu}}{L_S L_R - L_{\mu}^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \end{cases} \quad (6)$$

В большинстве случаев можно принять, что произведение σL_R , называемое эквивалентной индуктивностью машины, определится по соотношению [4]:

$$\sigma L_R = L_K,$$

где $L_K = L_R' + L_S$ - индуктивность машины в режиме короткого замыкания. Индуктивности L_K соответствует реактивное сопротивление короткого замыкания X_K :

$$X_K = 2\pi f_C L_K = X_{S|f_C} + X'_{R|f_C},$$

где f_C - номинальная частота напряжения питающей сети.

Разделим обе части второго уравнения системы (6) на ω_0 :

$$\frac{\bar{U}_R}{\omega_0} = -\frac{R_R k_S}{\omega_0 \sigma L_R} \bar{\Psi}_S + \left(\frac{R_R}{\omega_0 \sigma L_R} + js \right) \bar{\Psi}_R$$

С учетом эквивалентной индуктивности выполняется равенство $\frac{R_R}{\omega_0 \sigma L_R} \approx \frac{R_R}{X_K} = s_{KP.H}$,

где $s_{KP.H}$ - критическое номинальное скольжение машины.

Пренебрегая активным сопротивлением статора, запишем первые два уравнения системы (6) в виде:

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_S = \frac{\bar{U}_S}{j\omega_0}, \\ \bar{\Psi}_R = \frac{\bar{U}_R}{\omega_0 s_{KP.H} + js} + \frac{\bar{U}_S k_S}{j\omega_0 s_{KP.H} + js} s_{KP.H}, \\ M = -\frac{3}{2} p_{II} \frac{L_{\mu}}{L_S L_R - L_{\mu}^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \end{cases} \quad (7)$$

Система (7) неудобна для анализа и применения на практике, так как идентификация потокоцеплений обмоток машины является сложной задачей.

Введем понятия относительного напряжения на роторе и уточненного относительного напряжения:

$$U_{ROTH} = \frac{U_R}{U_S},$$

$$U_R^* = U_{ROTH} / k_S.$$

где U_{ROTH} - относительное напряжение на роторе,

U_R^* - уточненное относительное напряжение на роторе.

С учетом уточненного относительного напряжения на роторе, а также вышеприведенного выражения для напряжения на роторе $\bar{U}_R = U_R e^{j\delta}$, получим выражение:

$$U_R = U_R e^{j\delta} = U_R^* k_S U_S e^{j\delta}. \quad (8)$$

Проекции потокосцеплений ротора и статора (7) на оси системы координат x - y , связанной с полем статора, определяются как:

$$\begin{cases} \Psi_{Sx} = 0, \\ \Psi_{Sy} = -\frac{U_S}{\omega_0}, \\ \Psi_{Ry} = \frac{R_R L_R \sigma k_S U_S}{R_R^2 + \omega_0^2 s^2 \sigma^2 L_R^2} \left(U_2^* \cos \delta + \frac{\omega_0 s \sigma L_R U_2^*}{R_R} - s \right), \\ \Psi_{Rx} = \frac{R_R L_R \sigma k_S U_S}{R_R^2 + \omega_0^2 s^2 \sigma^2 L_R^2} \left(U_2^* \sin \delta - \frac{\omega_0 s \sigma L_R U_2^*}{R_R} \cos \delta - s_{KP.H} \right). \end{cases} \quad (9)$$

В указанной системе координат выражение для момента примет вид:

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{k_S}{\sigma L_R} (\Psi_{Rx} \Psi_{Sy} - \Psi_{Ry} \Psi_{Sx}). \quad (10)$$

Подставив выражения (9) в выражение (10), получим:

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{k_S^2 U_S^2}{\omega_0^2 \sigma L_R} \frac{s_{KP.H} s}{s_{KP.H}^2 + s^2} \left[1 - \frac{U_2^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]. \quad (11)$$

Значение критического номинального момента двигателя рассчитывается как:

$$M_{KP.H} = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{k_S^2 U_S^2}{\omega_0^2 \sigma L_R}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (11), получим выражение, связывающее момент, развиваемый машиной, скольжение, фазу и относительную амплитуду напряжения в цепи ротора:

$$M = \frac{2M_{KP.H}}{s_{KP.H} / s + s / s_{KP.H}} \left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]. \quad (14)$$

Выражение (14) можно разбить на 2 компонента:

$M_E = \frac{2M_{KP.H}}{s_{KP.H} / s + s / s_{KP.H}}$ - момент, развиваемый асинхронным двигателем (формула

Клосса);

$\left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]$ - множитель, связанный с питанием ротора от внешнего источника напряжения.

Выражение (14) определяет механические характеристики машины двойного питания. Задаваясь значениями U_R^* и δ и подставляя их в (14), возможно построить механические характеристики машины при различных значениях амплитуды и фазы напряжения на роторе.

Проанализируем механические характеристики МДП в асинхронном режиме. Как видно из уравнения (14), их вид определяется величиной и знаком компонента

$\left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]$. В частности, для реализации тормозного режима за счет управления амплитудой и фазой напряжения на роторе необходимо, чтобы выполнялось условие (15).

$$1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) < 0 \text{ или } \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) > 1. \quad (15)$$

Механические характеристики МДП на основе двигателя МТФ-111-Н6 при изменении амплитуды и фазы напряжения на роторе приведены на рисунках 1 и 2.

Из семейств характеристик, приведенных на рисунках 1 и 2 следует, что на величину развиваемого машиной момента влияют оба параметра, но в большей степени влияет амплитуда напряжения на роторе, в то время как его фаза позволяет изменять жесткость характеристик.

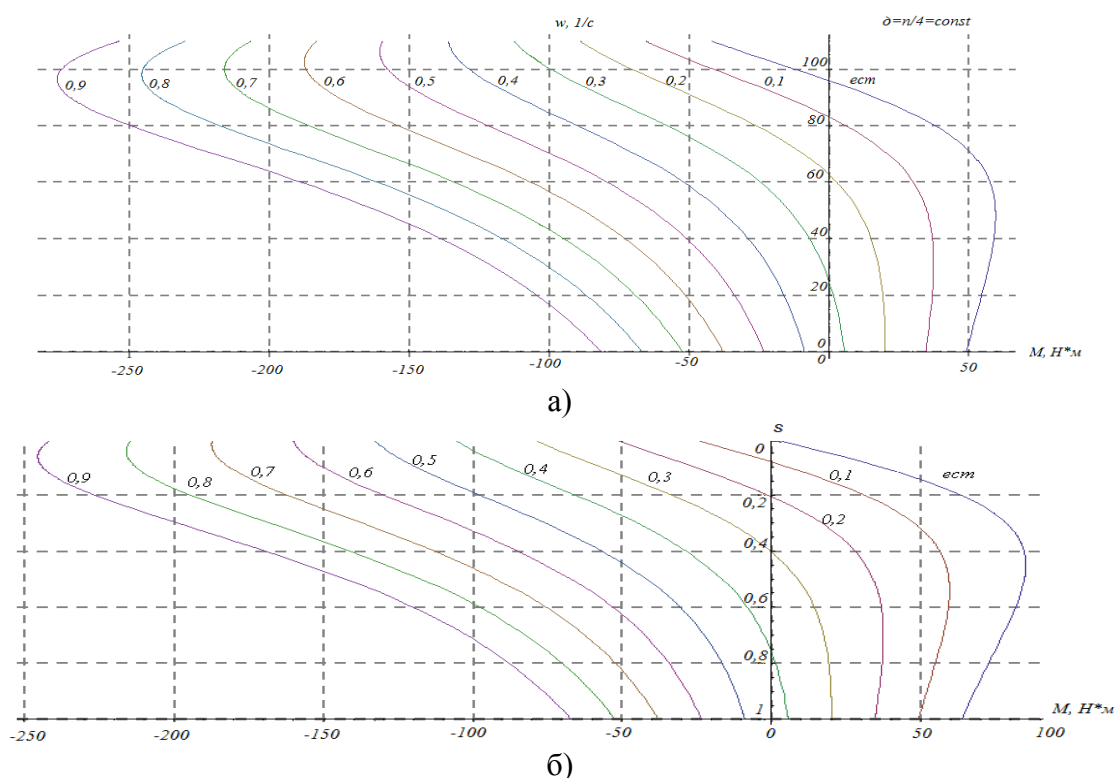


Рисунок 1 – Семейство механических характеристик МДП в асинхронном режиме

при $\delta = \frac{\pi}{4}$ и различных значениях U_R^* (а – зависимость момента машины

от скорости; б – от скольжения)

Таким образом, управляя амплитудой и фазой напряжения на роторе (путем регулирования проекций обобщенного вектора напряжения на роторе на оси прямоугольной системы координат), можно добиться работы машины на характеристике, отвечающей текущим условиям работы подъемной машины.

Кроме того, по характеристикам, приведенным на рисунке 1 видно, что при определенной величине амплитуды напряжения на роторе машина начинает развивать тормозной момент. Из характеристик, приведенных на рисунке 2, следует, что минимальный момент при фиксированной амплитуде достигается при $\delta = \frac{\pi}{4}$. Из характеристик на рисунке 2 видно, что приемлемый тормозной момент машина развивает при $U_R^* = 0,3 \dots 0,4$. Было установлено, что оптимальными параметрами напряжения на роторе для торможения являются $U_R^* = 0,39$, $\delta = \frac{\pi}{4}$.

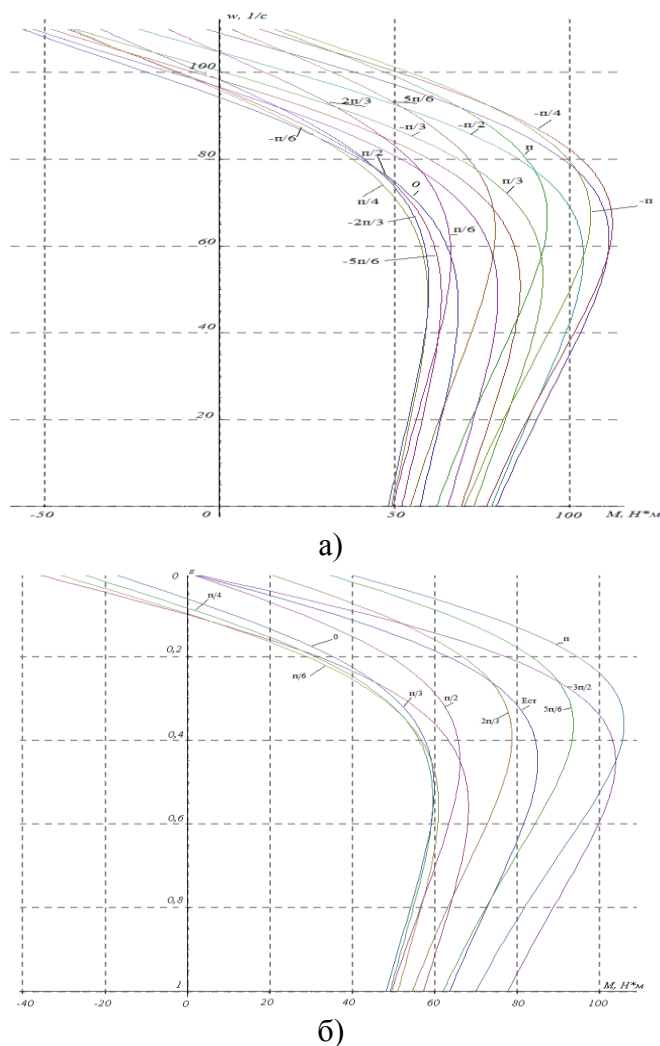


Рисунок 2 – Семейство механических характеристик МДП в асинхронном режиме при $U_R^* = 0,1$ и различных значениях угла δ (а – зависимость момента машины от скорости; б – от скольжения)

При этом фактическая величина напряжения на роторе определится как $U_R = U_S U_{ROTH} = U_S U_R^* k_S$. Таким образом, для получения тормозного момента для двигателя МТФ111-6 величина напряжения на роторе должна составлять $U_R = U_S U_{ROTH} = U_S U_R^* k_S = 220 \cdot 0,39 \cdot 0,88 = 77,3$ В при его фазе $\delta = \frac{\pi}{4}$ (рисунок 4).

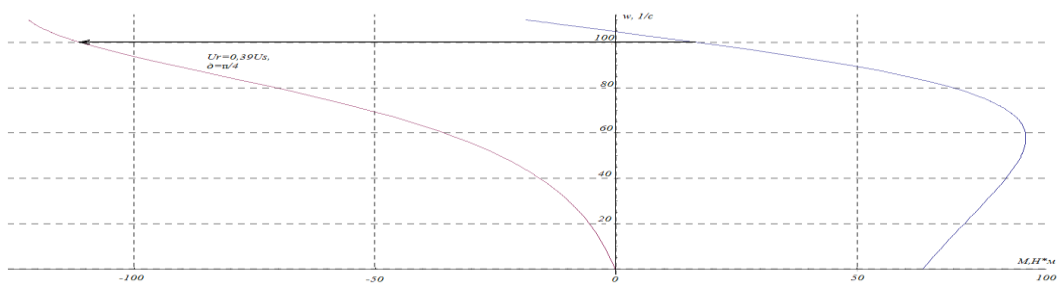


Рисунок 4 – Механические характеристики машины в режиме торможения полем ротора

Рассмотрим также работу МДП в асинхронном режиме при изменении чередования фаз напряжения на статоре (режим противовключения). Механические характеристики для данного режима приведены на рисунке 5. На рисунке 5 видно, что в режиме противовключе-

ния путем изменения напряжения на роторе можно добиться работы машины в III координатном квадранте.

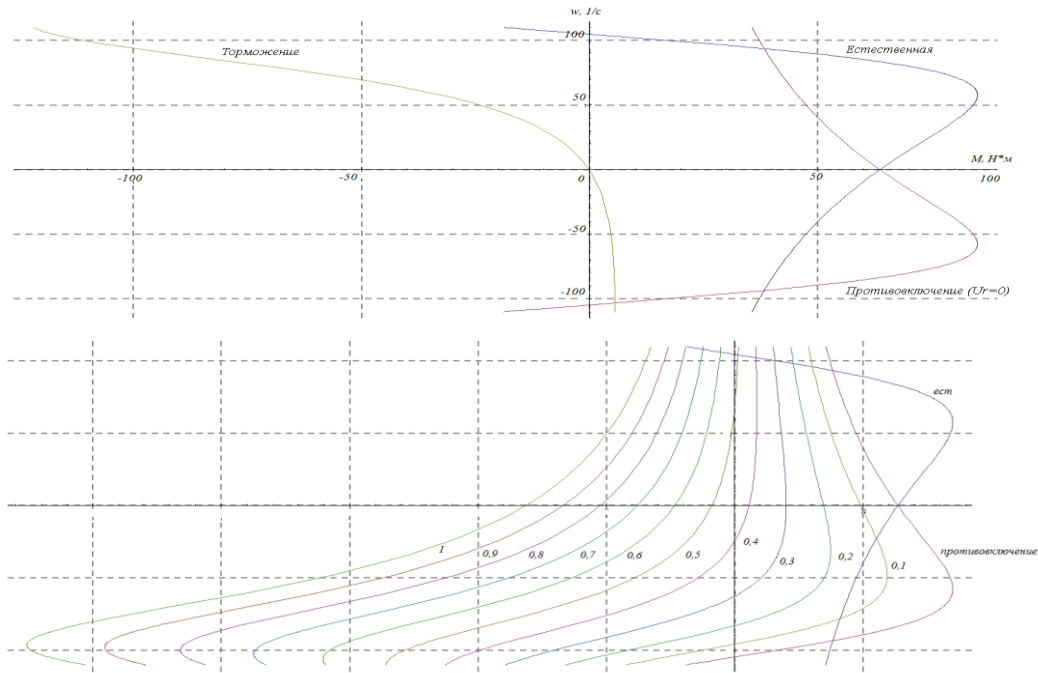


Рисунок 5 – а) Механическая характеристика МДП при изменении порядка чередования фаз напряжения на статоре; б) Механические характеристики МДП в режиме противовключения при изменении амплитуды напряжения на роторе и фиксированном угле $\delta = \frac{\pi}{4}$

Для получения зависимости тока ротора от скорости в асинхронном режиме рассмотрим уравнения электрического равновесия машины (7), (9) и выразим из них ток ротора с учетом соотношения для напряжения на роторе (8):

$$I_R = \frac{U_S k_S s}{\sqrt{R_R^2 + s^2 k_S^2 \sigma^2 X_R^2}}, \quad (16)$$

где $\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_R L_S}$ - коэффициент рассеяния машины, позволяющий в выражении (16) учесть индуктивное сопротивление статора.

По данным [4], в реальных схемах машин двойного питания из-за отличного от расчетного распределения токов по обмоткам, в расчеты токов необходимо вводить поправочный коэффициент:

$$\gamma_T = \sqrt{\frac{R_R^2}{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2} + \frac{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2}{s^2 k_S^2 X_\mu^2}}, \quad (17)$$

где X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающей ветви T-схемы замещения.

Объединив выражения (16) и (17), получим выражение (18) для уточненной зависимости активного тока ротора в асинхронном режиме:

$$I_{RA} = \frac{U_S k_S s}{\sqrt{R_R^2 + s^2 k_S^2 \sigma^2 X_R^2}} \cdot \gamma_T = \frac{U_S k_S s}{\sqrt{R_R^2 + s^2 k_S^2 \sigma^2 X_R^2}} \cdot \sqrt{\frac{R_R^2}{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2} + \frac{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2}{s^2 k_S^2 X_\mu^2}}. \quad (18)$$

В соответствии с выражением (18) построим зависимости активного тока ротора в асинхронном режиме без учета зависимости индуктивных сопротивлений от скольжения и с учетом данной зависимости (рисунок 6).

Сравнив зависимости, приведенные на рисунке 6, с известными электромеханическими характеристиками асинхронного двигателя [3], [5], [6], можно прийти к выводу о том, что наличие добавочного напряжения на роторе значительно изменяет электромеханические характеристики машины. Например, видно, что в режиме противовключения МДП (IV координатный квадрант на рисунке 6) ток ротора превышает номинальный, но в меньших пределах, чем для асинхронного двигателя с фазным ротором в естественной схеме включения. Кроме того, на рисунке 6 хорошо виден участок работы машины в режиме неявнополюсного синхронного двигателя в окрестностях синхронной скорости.

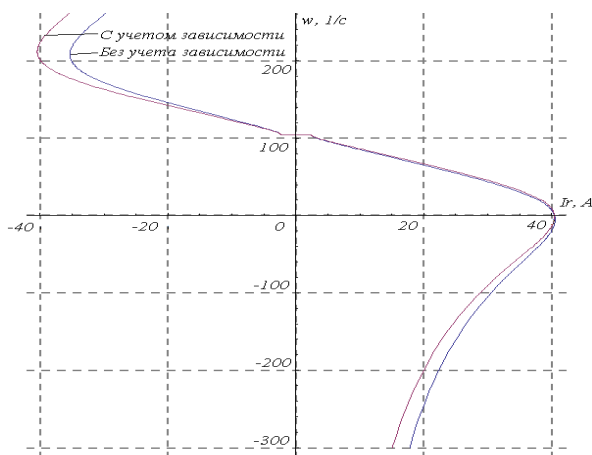


Рисунок 6 – зависимость активного тока ротора в асинхронном режиме

Исходя из проведенного анализа зависимости активного тока ротора в асинхронном режиме, можно прийти к следующим выводам:

- 1) В МДП возможно регулирование скорости при помощи изменения амплитуды и фазы напряжения, подведенного к ротору;
- 2) Изменяя величину амплитуды напряжения на роторе и его знаком (направлением), можно добиться как двигательных, так и тормозных режимов работы машины во всех четырех квадрантах координатной плоскости «момент – скольжение»;
- 3) Изменение фазы напряжения на роторе позволяет изменять жесткость механических характеристик МДП;
- 4) Жесткость рабочих участков механических характеристик МДП незначительно отличается от жесткости механических характеристик АД ФР с роторной станцией.

Библиографический список

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
2. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. [Электронный ресурс]: Асинхронный электропривод шахтной подъемной установки, построенный по схеме машины двойного питания с комбинированным управлением / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост.: В.Ю. Островлянич, И.Ю. Поползин. – Электронные данные. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.
3. Ключев В. И. Теория электропривода / В.И. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
4. Онищенко Г.Б., Асинхронные вентильные каскады и машины двойного питания / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. – Москва: Энергия, 1979. – 200 с.
5. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
6. Основы автоматизированного электропривода / М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В.М. Терехов, А.В. Шинянский. – Москва: Энергия, 1974. – 568 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИНХРОННОМ РЕЖИМЕ

Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.

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

На основании уравнений электрического равновесия обмоток машины двойного питания получены и проанализированы выражения для механической характеристики машины в синхронном режиме, предложен режим динамического торможения по ротору.

Важнейшими характеристиками машины двойного питания (МДП) являются ее механические и электромеханические характеристики. Именно они определяют пригодность ее применения в технологическом процессе подъема и необходимые режимы работы машины.

В соответствии с [1], [2] уравнения электрического равновесия обмоток машины относительно потокоцеплений обмоток запишутся как:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = j\omega_0 \bar{\Psi}_S + \bar{I}_S R_S, \\ \bar{U}_R = j\omega_0 s \bar{\Psi}'_R + \bar{I}'_R R'_R. \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{U}_S, \bar{U}_R – комплексные значения напряжений на статоре и роторе соответственно;

\bar{I}_S, \bar{I}'_R – комплексные значения тока статора и приведенного тока ротора соответственно;

$\bar{\Psi}_S, \bar{\Psi}'_R$ – комплексные значения потокоцепления статора и приведенного потокоцепления ротора соответственно;

R_S, R'_R – активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора соответственно;

L_S, L_R, L_μ – индуктивности статора, ротора и намагничивания соответственно;

ω_0 – скорость вращения магнитного поля статора;

s – скольжение;

z_{II} – число пар полюсов машины;

M – электромагнитный момент машины.

Определим момент как функцию векторного произведения потокоцеплений обмоток статора и ротора:

$$M = -\frac{3}{2} z_{II} \frac{L_\mu}{L_S L_R - L_\mu^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \quad (2)$$

Обозначим угол сдвига фаз между напряжением на статоре и напряжением, подведенным к ротору, как δ и примем, что начальная фаза вектора напряжения на статоре машины \bar{U}_S равна 0. В этом случае комплексное значение напряжения на роторе определяется как:

$$\bar{U}_R = U_R e^{j\delta}. \quad (3)$$

Для асинхронного режима работы машины двойного питания независимо задаются амплитуда U_R и фаза δ напряжения, подведенного к ротору, а частота всегда равна частоте скольжения.

Введем коэффициент рассеяния машины:

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_S L_R} \quad (4)$$

и запишем выражения для связи токов и потокосцеплений обмоток машины:

$$\begin{cases} \bar{I}_S = \frac{1}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_S - \frac{k_R}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_R \\ \bar{I}_R = -\frac{k_S}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_S - \frac{1}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_R, \end{cases} \quad (5)$$

где k_S, k_R – коэффициенты связи статора и ротора соответственно.

Подставив выражения для токов (5) и момента (2) в систему (1), получим:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = \left(\frac{R_S}{\sigma L_S} + j\omega_0 \right) \bar{\Psi}_S - \frac{R_S k_R}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_R, \\ \bar{U}_R = -\frac{R_R k_S}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_S + \left(\frac{R_R}{\sigma L_R} + j\omega_0 s \right) \bar{\Psi}_R', \\ M = -\frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{L_{\mu}}{L_S L_R - L_{\mu}^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \end{cases} \quad (6)$$

В большинстве случаев можно принять, что произведение σL_R , называемое эквивалентной индуктивностью машины, определится по соотношению [3]:

$$\sigma L_R = L_K,$$

где $L_K = L_R' + L_S$ – индуктивность машины в режиме короткого замыкания. Индуктивности L_K соответствует реактивное сопротивление короткого замыкания X_K :

$$X_K = 2\pi f_C L_K = X_{S|f_C} + X'_{R|f_C},$$

где f_C – номинальная частота напряжения питающей сети.

Разделим обе части второго уравнения системы (6) на ω_0 :

$$\frac{\bar{U}_R}{\omega_0} = -\frac{R_R k_S}{\omega_0 \sigma L_R} \bar{\Psi}_S + \left(\frac{R_R}{\omega_0 \sigma L_R} + js \right) \bar{\Psi}_R$$

С учетом эквивалентной индуктивности выполнится равенство $\frac{R_R}{\omega_0 \sigma L_R} \approx \frac{R_R}{X_K} = s_{KP.H}$,

где $s_{KP.H}$ – критическое номинальное скольжение машины.

Пренебрегая активным сопротивлением статора, запишем первые два уравнения системы (6) в виде:

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_S = \frac{\bar{U}_S}{j\omega_0}, \\ \bar{\Psi}_R = \frac{\bar{U}_R}{\omega_0 s_{KP.H} + js} + \frac{\bar{U}_S k_S}{j\omega_0 s_{KP.H} + js} \frac{s_{KP.H}}{s_{KP.H} + js}, \\ M = -\frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{L_{\mu}}{L_S L_R - L_{\mu}^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \end{cases} \quad (7)$$

Система (7) неудобна для анализа и применения на практике, поскольку идентификация потокосцеплений обмоток машины является сложной задачей.

Введем понятия относительного напряжения на роторе и уточненного относительного напряжения:

$$U_{ROTH} = \frac{U_R}{U_S},$$

$$U_R^* = U_{ROTH} / k_S.$$

где U_{ROTH} – относительное напряжение на роторе,

U_R^* – уточненное относительное напряжение на роторе. С учетом уточненного относительного напряжения на роторе, а также вышеприведенного выражения для напряжения на роторе $\bar{U}_R = U_R e^{j\delta}$, получим выражение:

$$U_R = U_R e^{j\delta} = U_R^* k_S U_S e^{j\delta}. \quad (8)$$

Проекции потокосцеплений ротора и статора (7) на оси системы координат x - y , связанной с полем статора, определяются как:

$$\begin{cases} \Psi_{Sx} = 0, \\ \Psi_{Sy} = -\frac{U_S}{\omega_0}, \\ \Psi_{Ry} = \frac{R_R L_R \sigma k_S U_S}{R_R^2 + \omega_0^2 s^2 \sigma^2 L_R^2} \left(U_2^* \cos \delta + \frac{\omega_0 s \sigma L_R U_2^*}{R_R} - s \right), \\ \Psi_{Rx} = \frac{R_R L_R \sigma k_S U_S}{R_R^2 + \omega_0^2 s^2 \sigma^2 L_R^2} \left(U_2^* \sin \delta - \frac{\omega_0 s \sigma L_R U_2^*}{R_R} \cos \delta - s_{KP.H} \right). \end{cases} \quad (9)$$

В указанной системе координат выражение для момента примет вид:

$$M = \frac{3}{2} P_{II} \frac{k_S}{\sigma L_R} (\Psi_{Rx} \Psi_{Sy} - \Psi_{Ry} \Psi_{Sx}). \quad (10)$$

Подставив выражения (9) в выражение (10), получим:

$$M = \frac{3}{2} P_{II} \frac{k_S^2 U_S^2}{\omega_0^2 \sigma L_R} \frac{s_{KP.H} s}{s_{KP.H}^2 + s^2} \left[1 - \frac{U_2^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]. \quad (11)$$

Значение критического номинального момента двигателя рассчитывается как:

$$M_{KP.H} = \frac{3}{2} P_{II} \frac{k_S^2 U_S^2}{\omega_0^2 \sigma L_R}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (11), получим выражение, связывающее момент, развиваемый машиной, скольжение, фазу и относительную амплитуду напряжения в цепи ротора:

$$M = \frac{2M_{KP.H}}{s_{KP.H} / s + s / s_{KP.H}} \left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]. \quad (14)$$

Выражение (14) можно разбить на 2 компонента:

$$M_E = \frac{2M_{KP.H}}{s_{KP.H} / s + s / s_{KP.H}} - \text{момент, развиваемый асинхронным двигателем (формула Клосса);}$$

$\left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{кр.н}} \sin \delta \right) \right]$ - множитель, связанный с питанием ротора от внешнего источника напряжения.

Выражение (14) определяет механические характеристики машины двойного питания.

При питании ротора машины постоянным напряжением $s=0$. В этом режиме выражение (14) с учетом выражения для критического скольжения примет вид:

$$M = -\frac{3}{2} p_{II} \frac{k_S U_S U_R}{\omega_0 R_R} \cos \delta. \quad (15)$$

Выражение (15) может быть записано и в другом виде. При питании ротора машины постоянным напряжением ток ротора является током возбуждения машины и определяется по выражению $I_R = I_B = \frac{U_R}{I_R}$. В этом случае магнитный поток, который создается током возбуждения в воздушном зазоре, очевидно, определится как $\Phi_B = L_{\mu} I_B$. Величина ЭДС, наводимой током возбуждения в обмотках статора, можно рассчитать по выражению $E_0 = \omega_0 \Phi_B$. Обозначив угол между вектором напряжения на статоре \bar{U}_S и вектором ЭДС, наводимой в статоре током возбуждения \bar{E}_0 , как θ , и принимая во внимание, что $\theta = -\left(\delta + \frac{\pi}{2} \right)$ [2],[3], получим выражение для угловой характеристики машины двойного питания, работающей в режиме неявнополюсного синхронного двигателя:

$$M = -\frac{3}{2} p_{II} \frac{U_S E_0}{\omega_0 X_S} \sin \theta. \quad (16)$$

Выражение (16) полностью аналогично выражению для угловой характеристики неявнополюсного синхронного двигателя.

В случае питания ротора от источника напряжения с независимым заданием частоты напряжения, подведенного к ротору, в выражении (14) скольжение и величина напряжения на роторе принимаются постоянными, и выражение (14) определяет угловую характеристику машины двойного питания в синхронном режиме.

В синхронном двигателе момент определяется углом θ , определяющим отставание поля ротора от поля статора и определяемым по выражению $\theta = \varphi_0 - \varphi_{ЭЛ}$, где $\varphi_0 = \omega_0 t$ - угол поля статора. В синхронном режиме работы машины двойного питания частота тока ротора в общем случае не равна 0, что влечет изменение угла сдвига между изображающими векторами напряжений на статоре и роторе под действием нагрузки и изменения скольжения. Поэтому угол между этими векторами φ_{RS} в общем случае не равен углу θ (равенство имеет место только при питании ротора машины постоянным напряжением, см. выше) [2].

В системе координат x - y , связанной с полем статора, уравнения МДП имеют вид (роторные координаты и параметры приведены к статорным):

$$\begin{cases} u_{Sx} = i_{Sx} R_S + \frac{d\psi_{Sx}}{dt} - \omega_0 \psi_{Sy}, \\ u_{Sy} = i_{Sy} R_S + \frac{d\psi_{Sy}}{dt} + \omega_0 \psi_{Sx}, \\ u_{Rx}' = i_{Rx}' R_R' + \frac{d\psi_{Rx}}{dt} - (\omega_0 - \omega) \psi_{Ry}, \\ u_{Ry}' = i_{Ry}' R_S' + \frac{d\psi_{Ry}}{dt} + (\omega_0 - \omega) \psi_{Rx}, \\ m = p_{II} \frac{L_{\mu}}{L_S} (\psi_{Sy} i_{Rx} - \psi_{Sx} i_{Ry}) \end{cases} \quad (17)$$

Рассмотрим статический режим работы машины ($d/dt=0$). При этом примем, что активное сопротивление статора мало по сравнению с активным сопротивлением ротора и реактивными сопротивлениями обмоток ($R_S=0$) [2].

Обобщенный вектор подведенного к ротору напряжения в системе координат $d-q$, связанной с ротором, раскладывается на две составляющих:

$$\begin{cases} u_{Rd} = -U_{R \max} \cos \omega t, \\ u_{Rq} = -U_{R \max} \sin \omega t. \end{cases} \quad (18)$$

Обобщенный вектор напряжения на статоре в системе координат, связанной со статором, в синхронном режиме МДП при $f_r \neq 0$, раскладывается на две составляющих:

$$\begin{cases} u_{S\alpha} = U_{S \max} \sin(\omega_0 t + \varphi_{RS}), \\ u_{S\beta} = -U_{S \max} \cos(\omega_0 t + \varphi_{RS}). \end{cases} \quad (19)$$

Используя формулы координатных преобразований [2] и опуская промежуточные преобразования, получим выражения для проекций обобщенных векторов напряжений на статоре и роторе на оси системы координат $x-y$, связанной с полем статора:

$$\begin{cases} u_{Sx} = U_{S \max} \sin \varphi_{RS}, \\ u_{Sy} = -U_{S \max} \cos \varphi_{RS}, \\ u_{Rx} = -U_{R \max}, \\ u_{Ry} = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Осуществив подстановку (20) в (17), получим:

$$\begin{cases} U_{S \max} \sin \varphi_{RS} = -\omega_0 \Psi_{Sy}, \\ -U_{S \max} \cos \varphi_{RS} = \omega_0 \Psi_{Sx}, \\ -U_{R \max} = I_{Rx}' R_R' - (\omega_0 - \omega) \Psi_{Ry}, \\ 0 = I_{Ry}' R_R' + (\omega_0 - \omega) \Psi_{Rx}, \\ M = p_{II} \frac{L_{\mu}}{L_S} (\Psi_{Sy} I_{Rx}' - \Psi_{Sx} I_{Ry}'). \end{cases} \quad (21)$$

Определим значения проекций обобщенных векторов потокосцеплений статора и ротора:

$$\begin{cases} \Psi_{Sx} = -\left(\frac{U_{S \max}}{\omega_0}\right) \cos \varphi_{RS}, \\ \Psi_{Sy} = -\left(\frac{U_{S \max}}{\omega_0}\right) \sin \varphi_{RS}, \\ \Psi_{Rx} = \frac{L_{\mu}}{L_S} \Psi_{Sx} + \frac{L_S L_R - L_{\mu}^2}{L_S} I_{Rx}', \\ \Psi_{Ry} = \frac{L_{\mu}}{L_S} \Psi_{Sy} + \frac{L_S L_R - L_{\mu}^2}{L_S} I_{Ry}'. \end{cases}$$

С учетом того, что $\frac{L_S L_R - L_{\mu}^2}{L_S} = \frac{X_S + X_R'}{\omega_0} = \frac{X_K}{\omega_0}$, выражение (21) примет вид:

$$\begin{cases} R_R' I_{Rx}' - sX_K I_{Ry}' = -U_{R\max}' - s \frac{L_\mu}{L_S} U_{S\max} \sin \varphi_{RS}, \\ sX_K I_{Rx}' + R_R' I_{Ry}' = s \frac{L_\mu}{L_S} U_{S\max} \cos \varphi_{RS}, \\ M = p_{II} \frac{L_\mu}{L_S} \frac{U_{S\max}}{\omega_0} \left(-\cos \varphi_{RS} I_{Rx}' + \sin \varphi_{RS} I_{Ry}' \right) \end{cases} \quad (22)$$

Разрешив первые два уравнения системы (22) относительно проекций вектора приведенного к статору тока ротора и опустив промежуточные преобразования, получим выражение для момента МДП в синхронном режиме:

$$M = \left(\frac{L_\mu}{L_S} \right)^2 \frac{3sR_R' U_S^2}{\omega_0 (R_R'^2 + X_K^2 s^2)} + \frac{L_\mu}{L_S} \frac{3U_S U_R}{\omega_0 \sqrt{R_R'^2 + X_K^2 s^2}} \sin \theta, \quad (23)$$

где $\theta = \varphi_{RS} + \arctg \frac{sX_K}{R_R'}$.

В выражении для момента МДП, работающей в синхронном режиме, присутствует два компонента: компонент, определяющий естественную механическую характеристику асинхронного двигателя $M_e = \left(\frac{L_\mu}{L_S} \right)^2 \frac{3sR_R' U_S^2}{\omega_0 (R_R'^2 + X_K^2 s^2)}$, и компонент, определяющий синхронную составляющую момента МДП в синхронном режиме и зависящий от системы управления $M_c = \frac{L_\mu}{L_S} \frac{3U_S U_R}{\omega_0 \sqrt{R_R'^2 + X_K^2 s^2}} \sin \theta$.

Как видно из вышеприведенных соображений и в соответствии с [2], [3], работа МДП в синхронном режиме аналогична работе явнополюсного синхронного двигателя с той разницей, что демпфирующее действие асинхронной составляющей момента МДП в синхронном режиме при $-s_{KP.H} < s < s_{KP.H}$ значительно более выражено, чем таковое для явнополюсной синхронной машины. При $|s| > s_{KP.H}$ асинхронная составляющая момента оказывает раскачивающее воздействие на МДП [2].

В соответствии с полученным выражением для механической характеристикой МДП в синхронном режиме были построены синхронная составляющая момента от скольжения (рисунок 1) и зависимость момента МДП от частоты напряжения на роторе (рисунок 2).

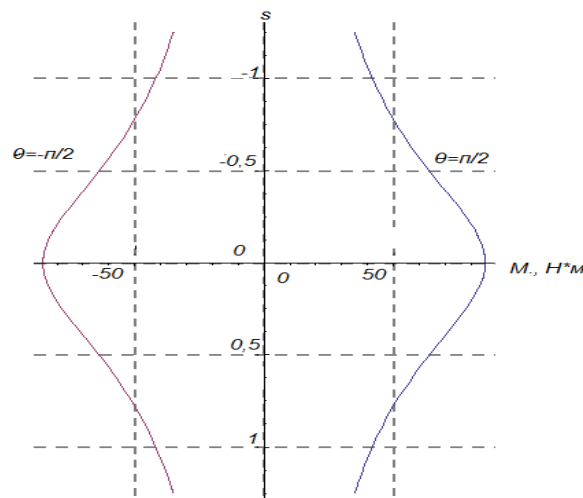


Рисунок 1 – Зависимость синхронной составляющей момента машины от скольжения при $U_R = U_S/k_T$

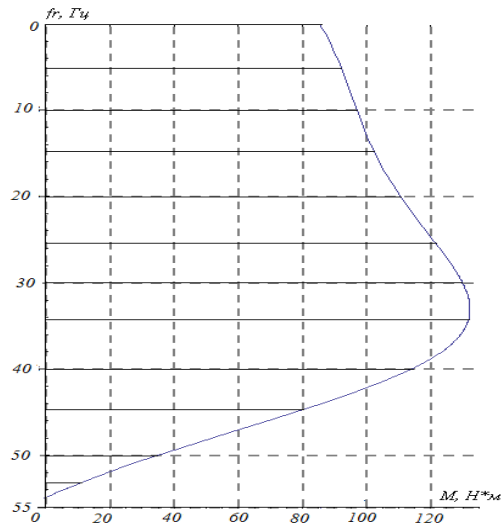


Рисунок 2 – Зависимость момента МДП в синхронном режиме от частоты напряжения на роторе

Видно, что, в отличие от синхронной машины, перегрузочная способность машины изменяется в зависимости от частоты (граница устойчивой работы определяется асинхронной составляющей момента и показана кривой на рисунке 2), и на частоте 50 Гц критический номинальный момент примерно равен номинальному моменту машины, что несколько ограничивает область применения МДП в синхронном режиме в качестве приводного двигателя.

Отдельным подвидом синхронного режима можно также считать динамическое торможение МДП по ротору. Запишем уравнения Кирхгофа для данного режима с учетом того, что статор отключен от сети ($U_S=0$, $\omega_0=0$):

$$\begin{cases} 0 = \bar{I}_S R_S - j\omega L_\mu \bar{I}_R, \\ U_R = \bar{I}_R R_R - j\omega L_R \bar{I}_R - j\omega L_\mu \bar{I}_R, \\ \bar{I}_R = \bar{I}_S + \bar{I}_\mu = \text{const.} \end{cases} \quad (24)$$

Выражения для режима динамического торможения АД по ротору примут вид:

$$\begin{aligned} M_{\text{ДТККР}} &= \frac{3(X_\mu I_{\text{ДТ}})^2}{2\omega_0(X_R + X_\mu)}, \\ s_{\text{ДТККР}} &= \frac{R_R}{X_R + X_\mu}, \\ s_{\text{ДТК}} &= \frac{\omega}{\omega_0}. \end{aligned} \quad (25)$$

Используя выражение (14) и полагая $U_R^*=0$ (т.к. $U_S=0$), получим выражение для электро-механической характеристики машины в режиме динамического торможения:

$$M_{\text{ДТ}} = \frac{2M_{\text{ДТККР}}}{s_{\text{ДТК}} / s + s / s_{\text{ДТК}}}. \quad (26)$$

Зависимость тормозного момента двигателя при динамическом торможении по ротору от тока динамического торможения приведена на рисунке 3.

Семейство механических характеристик МДП в режиме динамического торможения по ротору приведено на рисунке 4.

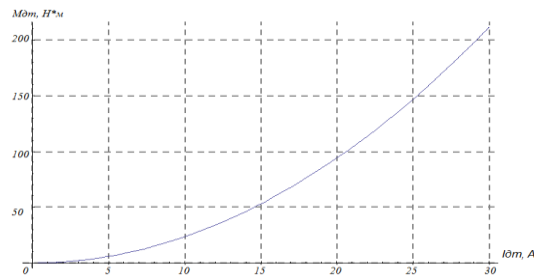


Рисунок 3 – Зависимость тормозного момента от тока динамического торможения

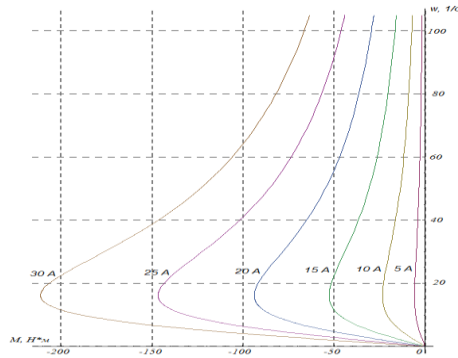


Рисунок 4 – Механические характеристики МДП в режиме динамического торможения

В целом данный режим аналогичен режиму динамического торможения асинхронного двигателя, однако более предпочтителен для МДП.

Таким образом, исходя из проведенного анализа электромеханических характеристик МДП в синхронном режиме, можно прийти к следующим выводам:

1. Реализация синхронного режима МДП осуществляется питанием цепи ротора постоянным напряжением либо напряжением фиксированной частоты, не равной частоте скольжения;
2. Скорость вращения ротора МДП в синхронном режиме определяется частотой напряжения на роторе;
3. Механические характеристики МДП в синхронном режиме в целом аналогичны механическим характеристикам синхронного двигателя, однако перегрузочная способность МДП зависит от частоты питающего ротор напряжения;
4. Демпфирующие свойства МДП в рабочем диапазоне скольжений асинхронной составляющей выше, чем у синхронного двигателя;
5. Для МДП в синхронном режиме возможен особый режим динамического торможения по ротору.

Библиографический список

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода / В.И. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Онищенко Г.Б., Асинхронные вентильные каскады и машины двойного питания / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. – Москва: Энергия, 1979. – 200 с.
4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ИНЖИНИРИНГ-МЕТАЛЛУРГИЯ»

Рыбенко И.А.

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

Одной из важнейших проблем, стоящих в настоящее время перед отраслями черной и цветной металлургии является снижение удельных расходов исходных материалов и энергии на единицу производимой продукции, то есть проблема создания энерго- и ресурсосберегающих технологий [1]. Разработка новых ресурсосберегающих технологий невозможна без вычислительных экспериментов, которые позволяют анализировать состояния и процессы и делать выводы о поведении исследуемых объектов на основании модельных представлений. Поэтому в настоящее время актуальным является создание инструментальных систем, реализующих математические модели и позволяющих эффективно проводить расчеты, исследования и решать различные оптимизационные задачи. Для решения этих задач с использованием средств MS Excel и Delphi создана инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия», осуществляющая решение задач по определению оптимальных условий реализации металлургических технологий, в которой программно реализовано математическое описание взаимосвязи потоков и параметров процессов с использованием комплекса математических детерминированных математических моделей, основанных на первом и втором законах термодинамики [2–4].

Инструментальная система, структурная схема которой приведена на рисунке 1, представляет собой комплекс программ, адаптированных для ряда металлургических технологий. Программы включают в себя набор стандартных блоков: «Исходные данные», «Балансы», «Энтальпии», «Активности», «Реакции», «Технико-экономические показатели», «Оптимизация», «Графика», «Исследование», в которых используются следующие базы данных: «Химический состав материалов», «Термодинамические свойства индивидуальных веществ», «Параметры взаимодействия 1-го порядка», «Атомные параметры», «Термодинамические характеристики реакций фазовых переходов и растворения элементов», «Удельные энергоемкости материалов». В блоке «Исходные данные» осуществляется ввод исходных данных: расходов, температур и химического состава для заданного набора шихтовых материалов и технологических параметров процесса. Пользователю предложен полный перечень шихтовых материалов для выбранного варианта технологии, предусмотрена возможность исключения какого-либо материала или добавления нового. По умолчанию в программе заданы химические составы всех используемых материалов, которые пользователь также может изменять по своему желанию. Параметры процесса определяются типом технологии, значения этих параметров также заданы по умолчанию. Их можно изменить или настроить самостоятельно. В блоке «Балансы» осуществляется расчет всех стадий, подпроцессов и статей материального и теплового балансов. При расчете материального баланса производится декомпозиция входных потоков, поступающих в металлургический агрегат, на вещества и элементы, которые с использованием коэффициентов распределения по фазам перераспределяются в металл, шлак или газ. Коэффициенты распределения настраиваются по результатам термодинамического моделирования для проектируемых процессов либо задаются на основании экспериментальных или литературных данных для известных технологий. Материальный баланс, таким образом, представлен балансами потоков, веществ и элементов. В результате дальнейшего расчета формируются составы и массы металла, шлака и газа. В этом же блоке рассчитываются все статьи теплового баланса. К приходной части баланса относятся энтальпии исходных материалов, тепловые эффекты экзотермических реакций и приход тепла от внешних источников, к расходной – энтальпии продуктов, тепловые эффекты эндотермических реакций и потери тепла в окружающую среду.

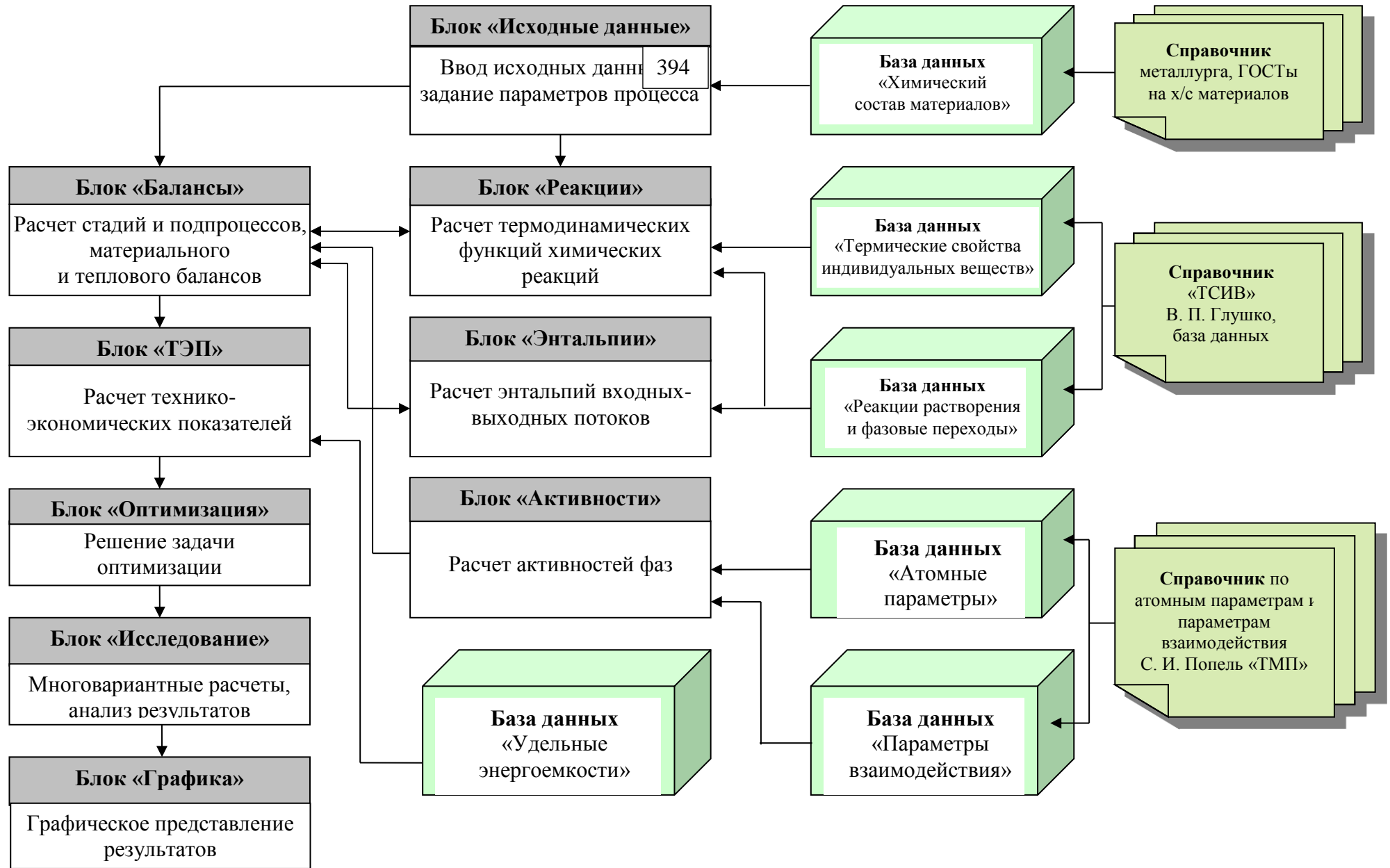


Рисунок 1 – Схема инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия»

Энтальпии исходных материалов и конечных продуктов рассчитываются в отдельном блоке «Энтальпии», в который из блока исходных данных передаются значения температур, масс и состава исходных материалов и из блока расчета материального и теплового балансов – значения температур, масс и составов металла, шлака и газа.

При расчете используются данные термодинамических функций веществ с использованием базы данных «Термодинамические свойства индивидуальных веществ». В блоке «Активности» производится расчет активностей компонентов металла с использованием аппарата параметров взаимодействия, шлака – по теории коллективизированных электронов и парциальных давлений газовой фазы. При расчетах активностей используются базы данных «Параметры взаимодействия 1-го порядка» и «Атомные параметры».

Термодинамический анализ химических реакций константным методом осуществляется в блоке «Реакции». Перечень независимых реакций формируется с использованием методов термодинамического моделирования в результате анализа всех возможных реакций перехода системы из начального состояния в конечное.

Для реакций горения, восстановления, окислительного рафинирования и реакций между индивидуальными веществами рассчитываются изменение изобарно-изотермического потенциала и константа равновесия. Для этого используются данные расчетов термодинамических функций индивидуальных веществ с использованием справочника по термическим свойствам веществ и баз данных по термодинамическим характеристикам реакций фазовых переходов и реакций растворения элементов в жидком железе. Производится оценка степени отклонения реакций от термодинамического равновесия путем анализа показателя отношения произведения активностей реагирующих веществ к константе равновесия. Для чего используются данные по активностям компонентов металла и шлака.

Блок «Технико-экономические показатели» представлен таблицей расчета производительности агрегата, удельных расходов материалов, себестоимости и энергоемкости продукта. При этом используется база данных значений удельных энергоемкостей материалов.

В блоке «Оптимизация» осуществляется решение задачи по определению оптимальных технологических режимов металлургических процессов, которое заключается в расчете управляющих воздействий для получения продукта с заданными свойствами при оптимизации одного из критериев. В качестве критериев могут быть выбраны следующие показатели: суммарный расход шихтовых материалов; затраты на единицу продукции, себестоимость продукции, энергоемкость процесса или производительность агрегата. Решение задачи оптимизации заключается в определении экстремума одного из вышеперечисленных критериев при выполнении ограничений на диапазоны изменения расходов компонентов входных потоков; соблюдение закона сохранения массы на уровне потоков, веществ и элементов; соблюдение закона сохранения энергии; соблюдение ограничений на параметры готового продукта; выполнение нормирующих соотношений и выполнение целевых условий по остальным критериям. Схема постановки и решения оптимизационной задачи приведена на рисунке 2. Задача решается методом нелинейного программирования – обобщенного приведенного градиента.

В блоке «Оптимизация» также представлены сводные результаты расчета: материальный баланс по потокам, общий тепловой баланс, технико-экономические показатели и составы металла, шлака и газа. В блоке «Графика» реализовано графическое представление результатов в виде гистограмм, круговых диаграмм и графиков, позволяющих провести полный анализ полученных результатов.

В блоке «Исследование» формируется сводная таблица результатов многовариантных исследований с последующей возможностью построения графиков, включающая значения удельных расходов материалов, технико-экономических показателей, параметров металла, шлака и газа и других необходимых показателей для выбранного варианта технологии.

Модули «Энтальпии», «Активности», «Реакции», «Оптимизация», «Графика» и «Исследование», а также используемые базы данных являются стандартными и могут применяться для расчетов любых типов процессов путем согласования данных с блоками «Исходные данные» и

«Балансы», которые, как и модуль «ТЭП», адаптированы к конкретному варианту технологии.



Рисунок 4 – Схема решения оптимизационной задачи

В программном комплексе в виде баз данных реализованы различные справочники, основным из которых является справочник по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ. Он включает следующую информацию: химическую формулу вещества с указанием фазового состояния, молярную массу, энтальпию образования и энтропию вещества при стандартной температуре, температуру и изменение энтальпии фазовых переходов и коэффициенты аппроксимационного уравнения для приведенной энергии Гиббса. При его формировании за основу взяты база данных программного комплекса «Терра» [5] и справочник по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ "ТСИВ" [6].

Инструментальная система включает комплекс программ для следующих вариантов технологий: кислородно-конвертерного процесса, электросталеплавильного процесса, процессов легирования стали в ковше, процессов прямого получения металла из железосодержащих материалов, переработки титаномагнетитовых концентратов и марганцевых руд, прямого восстановления железа с попутным получением синтез-газа в агрегате струйно-эмульсионного типа, процессов горения различных видов топлива в вихревой адиабатической топке, процесса получения меди в анодной печи, процесса получения силикомарганца и процесса производства марганца в плазменной печи. Разработанный комплекс зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (№ 2017617445).

Таким образом, созданная инструментальная системы «Инжиниринг-металлургия» позволяет осуществлять многовариантные расчеты, поводить исследования и решать комплекс взаимосвязанных оптимизационных задач по определению наилучших условий метал-

лургических процессов [7–10].

Использование этого программного инструмента позволяет существенно повысить производительность труда исследователей и создать условия для объективной оценки достоверности получаемых результатов.

Библиографический список

1. Лисин, В.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века и металлургия [текст] / В.С. Лисин, Ю.С. Юсфин. – М.: Высшая школа, 1998. – 447 с.
2. Рыбенко, И.А. Разработка средствами Excel системы расчета металлургических процессов [текст] / И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2005. - № 2. – С. 55 – 58.
3. Разработка инструментальной системы моделирования и расчета статических режимов управления сталеплавильными процессами [текст] / С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко, В.Ю. Климов, В.И. Кожемяченко // Моделирование физико-химических систем и технологических процессов в металлургии : тез. докл. всесоюз. совещ., Новокузнецк, 14 – 19 октября 2001 г. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2001. – С. 191 – 193.
4. Рыбенко И.А. Разработка методики и системы расчета вариантов технологий непрерывного получения металла в агрегатах струйно-эмульсионного типа [текст] : дис. канд. техн. наук: спец. 05.16.02 : защищена 28.03.00 : утв. 14.06.00 / И. А. Рыбенко. – Новокузнецк, 2000. – 165 с.: ил.
5. Трусов Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах [текст] / Б. Г. Трусов // III межд. симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы: Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.
6. Термические константы веществ [текст]: справочник; под ред. В.П. Глушко. – Вып. 1 – 10. – М. : ВИНТИ, 1965 – 1982.
7. Рыбенко И.А. Моделирование и оптимизация стационарных режимов металлургических процессов [текст] : монография / И. А. Рыбенко, С. П. Мочалов; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 168 с.
8. Рыбенко И.А. Применение методики и инструментальной системы расчета металлургических процессов для разработки теоретических основ ресурсосберегающих технологий [текст]: монография / И. А. Рыбенко ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 187 с.
9. Рыбенко И.А. Применение инструментальной системы моделирования и оптимизации для разработки теоретических основ технологий легирования и модифицирования стали [текст] / И.А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2017. - № 2. – С. 37 – 43.
10. Рыбенко И.А. Оптимизация технологий в струйно-эмульсионном металлургическом агрегате с использованием методики и инструментальной системы моделирования [текст] / И.А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2017. - № 3. – С. 60 – 65.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ УЧАСТКА БАРЗАССКИЙ 2 ГЛУШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Шестакова О.Е., Венгер М.К.

*Кузбасский Государственный Технический университет,
г. Кемерово, Россия*

Предметом исследования являются показатели качества углей – генетические, технологические, кондиционные. Методы исследования – геологические, петрографические, технического анализа с использованием автоматизированных систем контроля [1].

Исследование качества углей участка Барзасский 2 проводилось на всех этапах геоло-

горазведочных работ и в период эксплуатации разреза ООО СП «Барзасское товарищество». Исследования проведены по ядерным пробам угля пластов, вскрытых скважинами, по эксплуатационным пробам из горных выработок по пластам Волковскому, Подволковскому на участке Барзасский 2. В случаях, при недостатке или отсутствия данных исследования отдельных параметров угля пластов, привлекались результаты изучения этих свойств одноименных пластов на смежных участках.

В петрографическом составе углей преобладают матовые и полуматовые литотипы углей, за исключением пластов Кемеровский и Лутугинский, где высокое содержание блестящих и полублестящих литотипов.

Угли участка содержат от 9 % до 15 % минеральных примесей, преимущественно глинистого вещества, в подчиненном значении представлены карбонаты, сульфаты, кварц. Глинистое вещество находится в виде отдельных обломков, сростков с карбонатами, также заполняет клетки фюзинизированных тканей и трещины в витрините. Карбонаты представлены в основном кальцитом в виде сростков с глиной, реже в свободном виде. Единичные зерна кварца встречаются в свободном виде.

Марочный состав углей установлен в соответствии с ГОСТ 25543-2013 по основным показателям: отражательной способности витринита R_o , суммарному содержанию в углях фюзинизированных компонентов ΣOK , выходу летучих веществ V^{daf} и толщине пластического слоя y . Индекс Рога не изучался при ведении геологоразведочных работ в период разведки. В таблице 1 приведены основные технологические характеристики пластов в пределах границ участка.

Марочный состав пластов. Уголь пласта Кемеровский участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется качественными показателями, представленными в таблице 1. Зольность – 10,0 %, показатель отражения витринита – 1,20 %, сумма фюзенизированных компонентов – 9 %, выход летучих веществ – 21,9 %, пластометрический показатель либо намечается или равен 1, в отдельных случаях может быть равным 14 мм, коксовый королек спекшийся, сплавленный. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 12, категории 0, типу 20, подтипу 00. Кодовое число 1202000. Данный уголь относится к марке СС (слабоспекающийся), группе 3СС (третий слабоспекающийся).

Таблица 1 – Характеристика качества углей по ядерным пробам

Пласт	A^d , %	W^{af}_{max} , %	Q^{daf}_s , МДж/кг	R_o , %	ΣOK , %	V^{daf} , %	y , мм
Кемеровский	10,0	5,40	36,22	1,20	9	21,9	1
Волковский	14,9	4,80	35,63	1,18	53	19,0	6
Подволковский	12,8	3,30	35,92	1,21	35	19,7	8
Владимировский I	13,6	7,26	35,87	1,30	47	19,0	4
Владимировский II	13,9	7,25	35,90	1,30	58	17,8	4
Лутугинский	11,2	2,10	35,84	1,30	55	18,1	4

Марочный состав пластов. Уголь пласта Кемеровский участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется качественными показателями, представленными в таблице 1. Зольность – 10,0 %, показатель отражения витринита – 1,20 %, сумма фюзенизированных компонентов – 9 %, выход летучих веществ – 21,9 %, пластометрический показатель либо намечается или равен 1, в отдельных случаях может быть равным 14 мм, коксовый королек спекшийся, сплавленный. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 12, категории 0, типу 20, подтипу 00. Кодовое число 1202000. Данный уголь относится к марке СС (слабоспекающийся), группе 3СС (третий слабоспекающийся).

Угли пластов Волковский и Подволковский по данным разведочных работ близки по своим характеристикам. Угли характеризуются средними показателями отражательной способности витринита 1,15-1,28 %, что соответствует III-IV стадии метаморфизма. Содержание витринита 39-61 %, зольность – 10,2-10,6 %, выход летучих веществ 19,0-19,7 %, толщина пластического слоя от намечающегося до 15 мм.

Уголь пласта Волковский участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется показателями, представленными в таблице 2. Зольность – 14,9 %, показатель отражения витринита – 1,18 %, сумма фюзенизированных компонентов – 53 %, выход летучих веществ – 19,0 %, пластометрический показатель равен 6. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 11, категории 5, типу 18, подтипу 06. Кодовое число 1151806. В соответствии с таблицей 11 ГОСТ 25543-2013 данный уголь относится к марке КС (коксовый слабоспекающийся), группе 1КС (первый коксовый слабоспекающийся), подгруппе 1КСФ (первый коксовый слабоспекающийся фюзинитовый).

Уголь пласта Подволковский участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется показателями, представленными в таблице 2. Зольность – 12,8 %, показатель отражения витринита – 1,21 %, сумма фюзенизированных компонентов – 35 %, выход летучих веществ – 19,7 %, пластометрический показатель равен 8. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 12, категории 3, типу 18, подтипу 08. Кодовое число 1231808. В соответствии с таблицей 11 ГОСТ 25543-2013 данный уголь относится к марке КС (коксовый слабоспекающийся), группе 1КС (первый коксовый слабоспекающийся), подгруппе 1КСВ (первый коксовый слабоспекающийся витринитовый).

Пласты Владимировский I, Владимировский II, Лутугинский схожи по своим качественным параметрам при зольности угля 10,3 %, 10,2 и 9,4, выходе летучих веществ 19,0 %, 17,8 %, 18,1 %, толщина пластического слоя может изменяться до 14 мм. Пласты горными работами не вскрыты.

Уголь пласта Владимировский I участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется показателями, представленными в таблице 2. Зольность – 13,6 %, показатель отражения витринита – 1,30 %, сумма фюзенизированных компонентов – 47 %, выход летучих веществ – 19,0 %, пластометрический показатель равен 4. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 13, категории 4, типу 18, подтипу 00. Кодовое число 1341800. В соответствии с таблицей 11 ГОСТ 25543-2013 данный уголь относится к марке СС (слабоспекающийся), группе 3СС (третий слабоспекающийся).

Уголь пласта Владимировский II участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется показателями, представленными в таблице 2. Зольность – 13,9 %, показатель отражения витринита – 1,30 %, сумма фюзенизированных компонентов – 58 %, выход летучих веществ – 17,8 %, пластометрический показатель равен 4. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 13, категории 5, типу 16, подтипу 00. Кодовое число 1351600. В соответствии с таблицей 11 ГОСТ 25543-2013 данный уголь относится к марке СС (слабоспекающийся), группе 3СС (третий слабоспекающийся).

Уголь пласта Лутугинский участка Барзасский 2 Глушинского месторождения Кузнецкого бассейна характеризуется показателями, представленными в таблице 2. Зольность – 11,2 %, показатель отражения витринита – 1,30 %, сумма фюзенизированных компонентов – 55 %, выход летучих веществ – 18,1 %, пластометрический показатель равен 4. Этот уголь в соответствии с ГОСТ 25543-2013 относится к классу 13, категории 5, типу 18, подтипу 00. Кодовое число 1351800. В соответствии с таблицей 11 ГОСТ 25543-2013 данный уголь относится к марке СС (слабоспекающийся), группе 3СС (третий слабоспекающийся).

При вскрытии пластов Владимировский I, Владимировский II, Лутугинский горными работами возможен перевод углей из марки СС в марку КС из-за занижения величины пластического слоя в период разведочных работ.

Направления использования углей. Угли характеризуются низким содержанием серы 0.24 – 0.61 %, фосфора 0.004 – 0.010 %; удельной теплотой сгорания 35.7 – 36.6 МДж/кг,

низшей теплотой сгорания 28.5 – 30.6 МДж/кг, обладают коксующимися свойствами и являются ценным сырьём для металлургической промышленности и для целей энергетики.

Угли марки СС (пласты Кемеровский, Владимировский I, Владимировский II, Лутугинский) предназначены для следующих направлений использования:

- *технологическое* – слоевое коксование, специальные процессы подготовки и коксования, производство смешанного газа в генераторах стационарного типа;

- *энергетическое* – пылевидное и слоевое сжигание в стационарных котельных установках и кипящем слое, сжигание в топках судов, энергопоездов, паровозов, топливо для коммунальных и бытовых нужд;

- *производство строительных материалов* – производство цемента и кирпича;

- *прочие (химические)* – производство активного угля.

Угли марки КС (пласты Волковский, Подволковский) предназначены для следующих направлений использования:

- *технологическое* – слоевое коксование, специальные процессы подготовки и коксования, производство смешанного газа в генераторах стационарного типа;

- *энергетическое* – пылевидное и слоевое сжигание в стационарных котельных установках и кипящем слое, сжигание в топках судов, энергопоездов, паровозов, топливо для коммунальных и бытовых нужд;

- *производство строительных материалов* – цемента.

Библиографический список

1. Шестакова, О.Е. Петрографический состав, строение и генезис ископаемых углей // Вестник КузГТУ. 2010. №1. С.3-10.

2. Геологический отчет с подсчетом запасов каменного угля по участкам Барзасский и Барзасский 2 Глушинского каменноугольного месторождения (по состоянию на 01.01.2013 г.): отчет о НИР: 32-08-10 / ООО СП «Барзасское товарищество»; рук. Вегнер В.Р.; исполн.: Яркова Н.М. [и др.]. – Кемерово: 2013. – 218 с.

3. ГОСТ 25543-2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННЫХ СУБД ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Бычков А.Г.

*Новокузнецкий институт (филиал) «Кемеровский государственный университет»,
г. Новокузнецк, Россия*

В настоящее время всё большее значение приобретают возможности ГИС-технологии. Они находят своё применение во многих областях: сфере управления бизнесом, транспортом, государственном управлении, коммунальном хозяйстве, при решении топологических задач и т.п. Анализ пространственных данных даёт возможность планировать расширение сети предприятия (открытие филиалов, банкоматов, киосков), позволяет рассчитывать всевозможные расстояния, площади и объёмы, помогает собирать статистическую информацию, которую трудно получить другим путём, и обрабатывать её [1].

Данные области объединяет использование геоинформационных систем для решения прикладных задач. Решение частных задач с применением ГИС-технологий требует использования программного обеспечения, набор которого позволяет создавать специализированные ГИС различной направленности [2].

Для успешного применения подобных систем требуется обеспечить исходные данные для построения самой карты и различных объектов на ней. Эти данные имеют свою особую

специфику, которую трудно учесть при использовании обычных СУБД. Необходимо использовать специальные надстройки для СУБД.

В то время, как традиционные базы данных могут хранить и обрабатывать числовую и символьную информацию, то пространственные – обладают расширенной функциональностью, позволяющей хранить целостный пространственный объект, объединяющий как традиционные виды данных (описательная часть или атрибутивная), так и геометрические (данные о положении объекта в пространстве). Пространственные базы данных позволяют выполнять аналитические запросы, содержащие пространственные операторы для анализа пространственно-логических отношений объектов (пересекается, касается, содержится в, содержит, находится на расстоянии X от, совпадает и пр.)[3].

Эти надстройки должны также удовлетворять требованиям спецификации OGC. OGC – «The Open Geospatial Consortium, Inc» – некоммерческая организация, контролирующая и координирующая разработку международных стандартов в области геоинформационных систем.

Примерами подобных продуктов являются:

- Oracle Spatial;
- PostGIS (расширение для PostgreSQL);
- Тип geometry для MySQL ;
- Boeing's Spatial Query Server (расширение для Sybase ASE);
- и другие.

На текущий момент времени, одной из часто используемых СУБД является PostGIS, так как довольно проста в эксплуатации и имеет бесплатную лицензию для некоммерческого использования. При создании пространственной базы данных автоматически создаются две таблицы метаданных - SPATIAL_REF_SYS и GEOMETRY_COLUMNS. Они создаются в соответствии со спецификацией «Open Geospatial Consortium Simple Features for SQL specification», выпущенной OGC и описывающей стандартные типы объектов ГИС, функции для манипуляции ими и набор таблиц метаданных.

Таблица GEOMETRY_COLUMNS хранит информацию о таблицах базы данных, содержащих пространственную информацию. Её заполнение осуществляется вручную, либо как следствие выполнения специальной процедуры OGC AddGeometryColumn().

Таблица SPATIAL_REF_SYS содержит числовые идентификаторы и текстовые описания систем координат, используемых в пространственной базе данных. Одним из полей этой таблицы является поле SRID – уникальный идентификатор, однозначно определяющий систему координат. SRID, и представляет собой числовой код, которому соответствует некоторая система координат. Например, распространенный код EPSG 4326 соответствует географической системе координат WGS84.

В качестве более конкретно примера приведена последовательность создания пространственной базы данных. Для этого необходимо вставить нижеприведенный код запроса в окно запросов SQL и нажать кнопку «Выполнить запрос».

```
create table points ( pt geometry, name varchar );  
insert into points values ( 'POINT(0 0)', 'Origin' );  
insert into points values ( 'POINT(4 0)', 'X Axis' );  
insert into points values ( 'POINT(0 3)', 'Y Axis' );  
select name, ST_AsText(pt), ST_Distance(pt, 'POINT(4 3)') from points;
```

В результате выполнения данного запроса была создана таблица *points*, состоящая из двух полей: поле *pt* типа *geometry* и поле *name* типа *varchar*, после чего были добавлены (*insert*) в нее три записи, содержащие информацию о точках. Затем осуществили выборку с использованием функций PostGIS: *ST_Distance()* и *ST_AsText()*. В качестве параметра обе функции используют объект типа *geometry*. Функция *ST_Distance()* рассчитывает расстояние между двумя указанными точками плоскости, а *ST_AsText()* возвращает геометрию объекта в текстовом формате WKT (Well-Known Text). Формат WKT включает информацию о типе объекта и координаты, составляющие объект.

Пространственную базу данных также можно наполнять из shape-файла. Для этого сначала необходимо преобразовать данные из shape-файла в формат, понятный PostgreSQL, с помощью утилиты shp2pgsql, а затем загрузить их в базу данных. Данные в данном примере хранятся в географической системе координат WGS84, для которой SRID имеет значение 4326. При переводе данных из shape-файла будет указано это значение в качестве параметра утилиты shp2pgsql. Будет загружен в базу данных файл bnd-political-boundary-a.shp (часть набора данных VMap0). Теперь необходимо составить командный bat-файл, содержащий следующие строки:

```
SET PATH="C:\Program Files\PostgreSQL\9.6\bin"  
shp2pgsql -i -D -s 4326 bnd-political-boundary-a.shp bnd-political-boundary-a > bnd-  
political-boundary-a.sql  
psql -U postgres -f bnd-political-boundary-a.sql -d postgis
```

Данный набор команд осуществляет конвертацию (shp2pgsql создает файл sql) и загрузку данных в БД (psql). Для того, чтобы добавить данные к существующей БД, можно использовать ключ **-a**, при этом схемы существующей БД и загружаемых данных должны совпадать.

Далее необходимо ввести пароль для пользователя postgres, открыть базу данных и убедиться в том, что все данные были успешно загружены. Для этого в pgAdmin надо зайти в: «Базы/postgis/Схемы/public/Таблицы», щелкнуть правой кнопкой мыши и в контекстном меню выбираем «Обновить», после чего в списке таблиц должна появиться загруженная таблица bnd-political-boundary-a.

Для просмотра данных PostGIS существует множество программ, одной из которых является QGIS. Для этого надо запустить QGIS и выбрать: «Layer/Add a PostGIS Layer». В открывшемся окне необходимо активизировать кнопку «New» и задать параметры нового соединения:

Name – имя сервера к которому устанавливается подключение, его можно посмотреть в браузере объектов pgAdmin. Если не было изменено, то по умолчанию используется имя PostgreSQL Database Server 9.6.

Host – адрес хоста на котором расположена база данных. Поскольку производится работа с базой данных локально, то в этом поле нужно указать localhost.

Port – порт на котором расположен сервис PostgreSQL, по умолчанию 5432.

Username – имя пользователя базы данных, в данном случае имя суперпользователя.

Password – пароль.

После того как все поля будут заполнены, надо нажать на «Test Connect». В окне «Create a New PostGIS connection» надо нажать «OK». Далее нужно выбрать созданное подключение, нажать «Connect» и снова ввести пароль на подключение к базе данных. После необходимо выбрать в появившемся окне слой (таблицу) bnd-political-boundary-a, нажать «Add», и выбранный слой будет загружен в окно QGIS. После чего с ним можно работать точно так же, как и с обычным слоем, созданным из shape-файла.

Большинство стандартных задач ГИС-анализа можно решить с использованием пространственных баз данных. Ниже будет рассмотрено несколько примеров использования PostGIS на примере имеющейся пространственной таблицы bnd-political-boundary-a. Поскольку геометрические данные этой таблицы выражены в десятичных градусах, то практической значимости рассчитанные величины иметь не будут.

Вычисление периметра Алтайского края производится:

```
SELECT ST_Perimeter(the_geom) AS perimeters  
FROM "bnd-political-boundary-a"  
WHERE nam = 'ALTAYSKIY KRAY';
```

В результате выполнения этого запроса будет рассчитан периметр Алтайского края (30.9082067657417).

Вычисление площади РФ выглядит следующим образом:

```
SELECT Sum(ST_Area(the_geom)) AS area  
FROM "bnd-political-boundary-a";
```

В результате выполнения показанного запроса будет рассчитана площадь РФ (2925.11361671992).

Актуальность данного вопроса обоснована тем, что необходимость решать подобные задачи повышается с течением времени, так как активно развиваются те предметные области различных направлений, в которых используются ГИС- технологии.

Библиографический список

1. Степанов Ю.А. Использование ГИС-технологий для оценки инвестиционной привлекательности региона [Текст] //Степанов Ю.А., Степанов И.Ю. /В сборнике: Наука и образование в XXI веке, сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 17 частях. 2014. С. 121-124.

2. Степанов Ю.А. Структура региональной геоинформационной системы при ведении выемочных работ угледобывающих предприятий [Текст] // Ю.А. Степанов / Научно техниче-ский журнал Геоинформатика. - Москва, 2012. – №1.– С. 36-41

3. Шекхар Шаши, Чаула Санжей. Основы пространственных баз данных. — Москва: Кудиц-образ, 2004. — 336 с. — ISBN 0-13-017480-7, 5-93378-091-X

4. Бычков А.Г. Использование геоинформационных систем для решения прикладных задач [Текст]/А.Г. Бычков// Проблемы современной науки и образования - 2017 - №105 - С. 24-27.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Степанов Ю. А.

*Новокузнецкий институт (филиал) «Кемеровский государственный университет»,
г. Новокузнецк, Россия*

Процесс принятия решений в геологоразведке характеризуется особенностью относительно исходной информации заключающейся в том, что исходные данные носят размытый нечёткий характер, причём мера этой размытости различна не только для разных данных, но и для различных интервалов одних и тех же данных. Они представляют собой, скорее, некое облако данных, на основании которых и следует принимать решение.

Моделирование в условиях неопределённости – весьма распространённая задача. В геофизических приложениях стартовая работа [1], посвящённая созданию метода нечёткого моделирования при изучении взаимосвязей между геофизическими параметрами, послужила основой для дальнейшего развития этого подхода в метод нечётких петрофизических композиций [2] при прогнозировании петрофизических параметров, его адаптации к условиям конкретных месторождений [3] и, в конечном итоге, к созданию технологии прогноза расчётных параметров при оценке запасов полезных ископаемых на основе метода нечётких петрофизических композиций [4].

Взаимосвязанные переменные, заданные экспериментально, должны быть представлены в виде нечётких переменных X и Y , заданных системой нечётких чисел x и y соответственно. Каждое из них имеет свою функцию принадлежности $\mu_x(x)$, $\mu_y(y)$, и нечёткое отношение $R(X \rightarrow Y)$ между X и Y задано в виде функции принадлежности $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$. Для конструирования функции принадлежности $\mu_{R(X \rightarrow Y)}(x, y)$ может быть использована различная базовая система функций принадлежности в качестве которой, в частности, выбрана экспоненциальная.

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме "Если-то" и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

1. существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина выходной

переменной;

2. для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки.

В противном случае имеет место неполная база нечетких правил.

Пусть в базе правил имеется m правил вида:

R_1 : ЕСЛИ x_1 это A_{11} ... И ... x_n это A_{1n} , ТО y это B_1

R_i : ЕСЛИ x_1 это A_{i1} ... И ... x_n это A_{in} , ТО y это B_i

R_m : ЕСЛИ x_1 это A_{m1} ... И ... x_n это A_{mn} , ТО y это B_m ,

где x_k , $k=1..n$ – входные переменные;

y – выходная переменная;

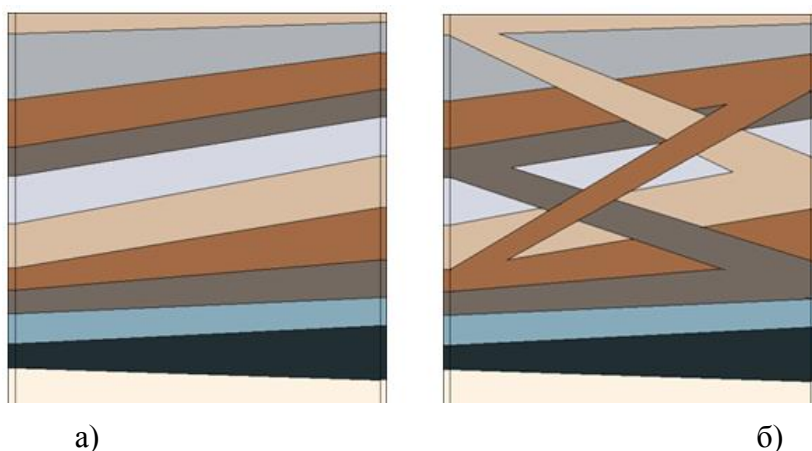
A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной y^* на основе заданных четких значений x_k , $k=1..n$.

Рассмотренный подход к анализу экспериментальных данных и прогнозу параметров, минуя построение уравнений регрессии, основан на понятийном аппарате теории нечетких множеств, отказе от рассмотрений зависимостей, имеющих корреляционный характер. Вместо этого рассматриваем экспериментальные данные как нечеткие множества, и для установления и оперирования присущими им взаимозависимостями используются методы теории нечетких множеств и нечеткого моделирования. В такой форме применяемый аппарат по своим потенциальным возможностям адекватен смысловому содержанию и точности исходных данных. Оперирование данными как нечеткими является более объективным. Оно не только позволит избежать ошибочных выводов, связанных с заменой реального материала его выхолощенным аналогом, но и дать, в конечном итоге, реальное представление о мере возможности тех либо иных и альтернативных к ним заключений.

Для построения модели слоев горных пород используется алгоритм поиска, основанный на методе нечеткой логики. Данный метод основан на алгоритме для лингвистической переменной с тремя элементами терм-множества. В связи с тем, что слоев одной и той же породы может быть несколько, проработан алгоритм поиска пород между скважинами (рисунок 1).

Для моделирования углепородного массива на основе пространственно-атрибутивных данных разработано специализированное программное обеспечение, предметной областью которого является моделирование разрабатываемого угледобывающим предприятием месторождения полезных ископаемых. Программная реализация осуществлена с применением объектно-ориентированного подхода к разработке. Наиболее важным элементом любой объектно-ориентированной системы являются классы. Хорошо структурированные классы должны иметь четко очерченные границы, формировать сбалансированное определение обязанностей в системе[5].



а) реальное расположение слоев, б) модель без алгоритма нечеткой логики

Рисунок 1 - Расположение пород между скважинами

Неотъемлемой частью подобных приложений является работа с геологоразведочными данными. Каждый замер имеет определённые координаты. Предположим, что некоторый модуль программы обрабатывает данные по разработке угольных пластов. Модель данных будет иметь структуру, представленную на рисунке 2.

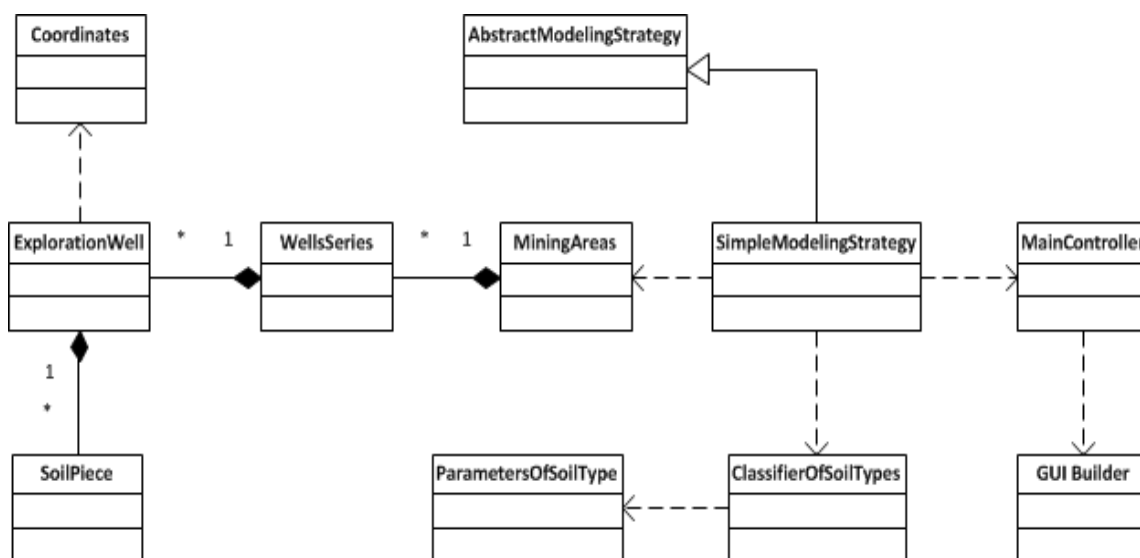


Рисунок 2 - Модель данных приложения визуализации углепородного массива

Класс SoilPiece представляет собой модель слоя геологической пробы. Слои объединены в рамках моделей геологоразведочных скважин – класс ExplorationWell. Каждая скважина имеет координатную привязку, реализованную в рамках класса Coordinates.

Для моделирования геологических срезов используется класс WellSeries, работающий с объектами геологических скважин. Трёхмерная модель зоны разработки MiningAreas представляет собой совокупность серий геологоразведочных скважин. Вариативность алгоритмов моделирования обеспечивается за счёт универсального интерфейса AbstractModelingStrategy. Примером реализации простого алгоритма моделирования пологих пластов является класс SimpleModelingStrategy. Для получения характеристик слоёв пород используется класс ClassifierOfSoilType. Характеристики инкапсулированы в структуре ParametersOfSoilTypes. Бизнес-логика приложения реализована классом MainController. Для формирования графического представления используется класс-компоновщик – GUI Builder.

Для такой модели, требуются дополнительные объекты для полей разработки и слоёв полезных ископаемых. К тому же, в базе данных должны содержаться данные как по уже построенным слоям, так и по первичным замерам. Таким образом, необходимо реализовать преобразование объектов к таблицам базы данных и обратно.

Работа с типовыми источниками пространственных данных обычно осуществляется посредством распространённых свободных библиотек или же средствами программного каркаса. Однако следует отметить, что при использовании NoSQL источников данных или необходимости преобразования электронных классификаторов к стандартным форматам, может потребоваться разработка собственных технических средств. Если планируется работа с электронными картами удалённого источника, то целесообразно разработать дополнительные средства для их получения и сохранения, а также проработать вопросы безопасности.

Библиографический список

1. Кобрунов А.И. Методы нечёткого моделирования при изучении взаимосвязей между геофизическими параметрами / А.И. Кобрунов, А.В. Григорьевых // Геофизика. – М., 2010. – №2. – С. 17-23.
2. Кобрунов А.И. Метод нечётких петрофизических композиций при прогнозировании

петрофизических параметров / А.И. Кобрунов, В.Е. Кулешов, А.С. Могутов, А.Н. Художилова // Вестник института Геологии КомиНЦ УРО РАН. – 2011. – №9, сентябрь. – С. 18-24.

3. Кобрунов А.И. Адаптация метода нечётких петрофизических композиций для определения подсчётных параметров Низевого месторождения / А.И. Кобрунов, В.Е. Кулешов, А.С. Могутов // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2011. – №6. – С. 307-315. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kobrunov/Kobrunov_1.pdf.

4. Кобрунов А.И. Повышение достоверности подсчёта запасов углеводородов на основе метода нечётких петрофизических композиций / А.И. Кобрунов, В.Е. Кулешов, А.С. Могутов // SPE – 162038. 11. Самарский, А.А. Математическое моделирование / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М. : Физ-мат. лит., 2002. – 316 с.

5. Фаулер М. Предметно-ориентированные языки программирования. – Вильямс, 2011. – 657с.

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ И ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ИХ ПОХОДКИ

Добрынин А.С., Койнов Р.С., Кулаков С.М., Андрианов О.Н.

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

Концептуальные элементы передвижения (походки) робота

Важно отметить, предлагаемые в статье подходы и идеи опираются на элементы подобия робототехнических шагающих устройств биологическим существам. Таким образом, реализуется управление, связанное с изменением координат и углов, в частности, движение вперед реализуется приращением координаты y в пространстве (x, y, z) . Повороты, резкие или плавные, обеспечиваются приращением координат $(\Delta x, \Delta y)$ в долях от длины шага. Можно упрощенно выразиться так: один шаг конструкции представляет собой набор состояний необходимых для перемещения всех ног и корпуса на приращение относительно ранее отработанного положения. Как конкретно перемещаются ноги и корпус робота – это уже другой вопрос. Здесь важно понимать, что стили и способы походки могут существенно отличаться друг от друга, как у людей, так и у механизмов. При этом, задание на новое положение координат может быть указано в соответствии с выражением:

$$POINT_{leg}(x_new, y_new, z_new) \rightarrow POINT_{leg}(x + dx, y + dy, z + dz) \quad (1)$$

Выражение (1) описывает всего лишь принцип походки, когда один шаг – это просто множество новых координат покоя для каждой ноги робота, при этом величины dx , dy , dz позволяют также определить возможные «промежуточные» состояния. Они необходимы для движения, к примеру, поднимая ногу вверх, робот проходит одну пятую (или одну третью) часть от расстояния dx .

Конечная же задача движения робота заключается в *получении углов поворота всех исполнительных механизмов для каждой стадии конечного автомата*. Таким образом, на практике недостаточно знать начальное и конечное положение координат ног робота при походке, нужно рассчитать также и все промежуточные состояния, которые описывают подъёмы ног, их перемещения в пространстве, опускания ног на новые координаты. Фактически, добавление «промежуточных» состояний при движении также позволяет обеспечить плавность и непрерывность перемещения всей конструкции, снижая риск поломки при резких движениях. На примере конкретной, шестиногой конструкции шагохода рассмотрим возможный подход к описанию (идентификации) ног в некотором программном или модельном комплексе. Идентификаторами могут служить уникальные целые числа, с возможностью получения объекта по идентификатору (`getByID`) или по имени (`getByName`) (рисунок 1).

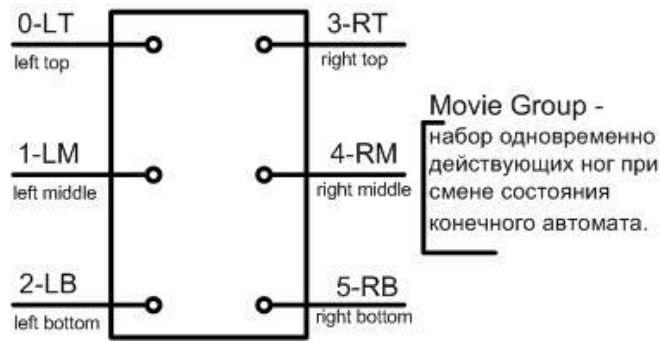


Рисунок 1 - Программное описание (обозначение) отдельных ног робота

Рассматривая *конечный автомат*, как набор следующих друг за другом стадий *походки (состояний)* робота, с обязательным возвращением на один из начальных этапов, очень важно подчеркнуть, что концептуально можно выделить два типа таких автоматов:

а) Конечный автомат без учета параметров внешней среды. Самый простейший способ перемещения в пространстве без учета обратной связи.

б) Конечный автомат с измерением параметров внешней среды. Отличается от предыдущего дополнительным вводом одного или нескольких дополнительных состояний или псевдосостояний, предназначенных для оценки самой среды и выбора способа движения.

Стоит отметить, что на выбор сценария движения робота и его программной реализации накладываются существенные, жёсткие ограничения возможности используемого «железа» и компонентов интегрированной электроники, когда может не хватить производительности, объема оперативной памяти под переменные, для реализации сложной логики. К примеру, аппаратно-программная платформа Arduino бюджетного рыночного сегмента задействует больше половины своего адресного пространства под символы даже, при реализации простейших, примитивных сценариев движения шагохода, показывая резкое падение производительности при увеличении количества одновременно работающих каналов передачи данных в режиме реального времени. Это плохо и, в конечном итоге, не позволяет создавать сложные программные скетчи с развитой логикой управления непосредственно в контроллере.

Рассмотрим частный пример конкретной диаграммы конечного автомата, для простейших случаев (рисунок 2 а, б).

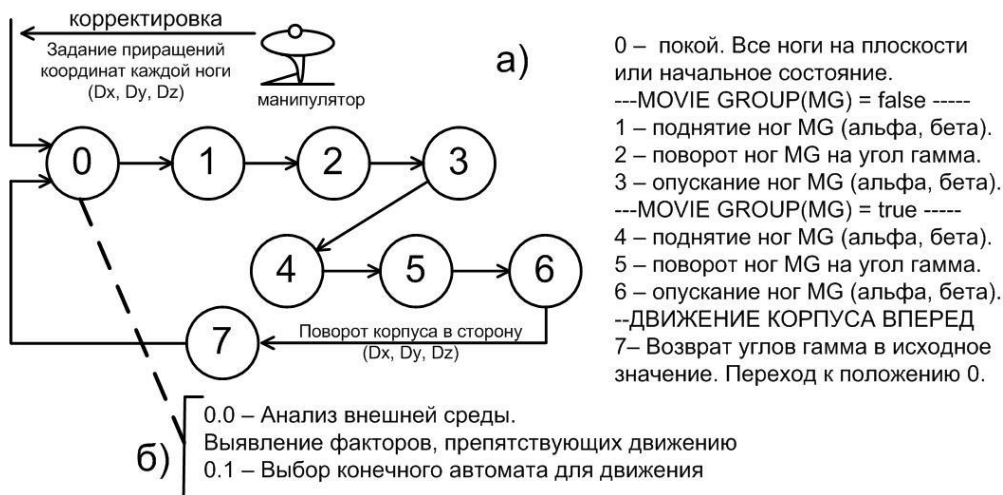


Рисунок 2 - Пример конечного автомата «запаздывающей» походки

Представленный на рисунке пример содержит 7 узлов (состояний) и 8 переходов – это сильно упрощенный частный случай того, что может быть реализовано в реальности, в виде управляющей программы шагающего робота. Рассматриваемый частный случай описывает один вариант походки «ногами вперед» из бесчисленного множества самых разнообразных

способов передвижения людей, животных и т.д. По сути, на рисунке 2 представлена «запаздывающая» походка, когда корпус движется в самую последнюю очередь. Разберем более подробно основные элементы управляющей программы, которая включает в себя:

1) Модуль инициализации одного или нескольких конечных автоматов (в зависимости от количества реализуемых сценариев движения в программе). Установка осей координат в центр конструкции (0,0,0). Установка координат каждой ноги робота относительно центра конструкции. Инициализация текущих координат каждой ноги координатами покоя. Описание «сторожевых условий» (border expressions) как указателей на функции (возможно, делегатов void*) от анализа окружающей среды.

2) Модуль получения данных от манипулятора. В качестве манипулятора может использоваться мышь, геймпад, игровой джойстик и не только. Обычно, производители железа, такие как Microsoft, Sony используют уровень дискретизации сигнала не более 1,2 байт. Их вполне достаточно для любых практических задач, это позволяет кодировать положение всех рычагов манипулятора (осей движения), в диапазоне [0, 65535] и кнопок [0,1], при этом положение покоя одной оси манипулятора обычно соответствует целому числу без знака (машинное слово) - 32768.

3) Модуль обработки состояний или петлевой (loop) логики. На практике реализуется аналогично современным промышленным контролерам разных производителей (Omron, Siemens). Программа петлевой логики представляет собой бесконечный цикл, в котором искусственно введены задержки (delays) или без них. В процессе обработки цикла осуществляется переход на новую стадию конечного автомата, отправка всех управляющих сигналов сервоприводам и анализ сторожевых условий (border expressions), с возможностью замены логики управления.

Классы и виды походок шагающих роботов

Собственно, походка представляет собой набор следующих друг за другом стадий, какого-либо конечного автомата, который может быть очень простым (до 10 стадий, см. рисунок 2) или сложным (10 – 20 различных стадий). Робот может реализовывать один или несколько видов движения (походки), менять их при выполнении определенных сторожевых условий (border expressions), однако, основные ограничения здесь связаны с возможностью электроники и пропускной способностью каналов связи. Переменным требуется память, обработка большого количества вычислений не может быть выполнена системой реального времени с низким быстродействием и т.д. Чудес не бывает, реализация любого «замысловатого» сценария приводит в итоге к падению производительности всей системы в целом.

Предлагаемая авторами классификация походок основана на двух важных принципах:

а) Ограниченности передвижения отдельной ноги робота. Очень важный принцип, поскольку исполнительные механизмы могут выполнять резкие повороты, ноги могут цепляться друг за друга, резкие движения в крайние положения приводят к потере равновесия. Таким образом, производится сознательное урезание всего пространства координат для свободного движения ноги.

б) Способу перемещения корпуса шагающего устройства.

Таким образом, все возможные типы и способы походок шагающих роботов мы можем классифицировать как:

а) Походки полного или неполного шага (в зависимости от процента падения объема сферы, по сравнению с полностью вытянутой ногой).

б) Походки с «упреждающим», «равномерным» и «запаздывающим» движением корпуса, когда корпус может двигаться в самом начале, равномерно с ногами или в конце.

Авторами были проведены исследования и разработаны конечные автоматы для различных стилей походок. Моделирующий комплекс для шагающих устройств позволяет осуществлять тестирование разных походок, на основе визуально – задаваемых конструктивных параметров, включая размеры, длины отрезков ног, высоту и т.д, а также получать весь перечень углов для всех сервоприводов, на каждой стадии конечного автомата, посредством

обычных математических расчетов. Эти углы (18 значений для шестиногой конструкции) могут передаваться непосредственно от манипулятора прошитой в железе управляющей программе. Таким образом, появляется возможность использовать разные пути для дистанционного управления, на базе стандартов Wi-Fi, Bluetooth или обычного аналогового радио.

На рисунке 3 показаны стадии конечного автомата для запаздывающей (движение корпуса в последнюю очередь) и равномерной походки робота, которые насчитывают различное количество стадий.

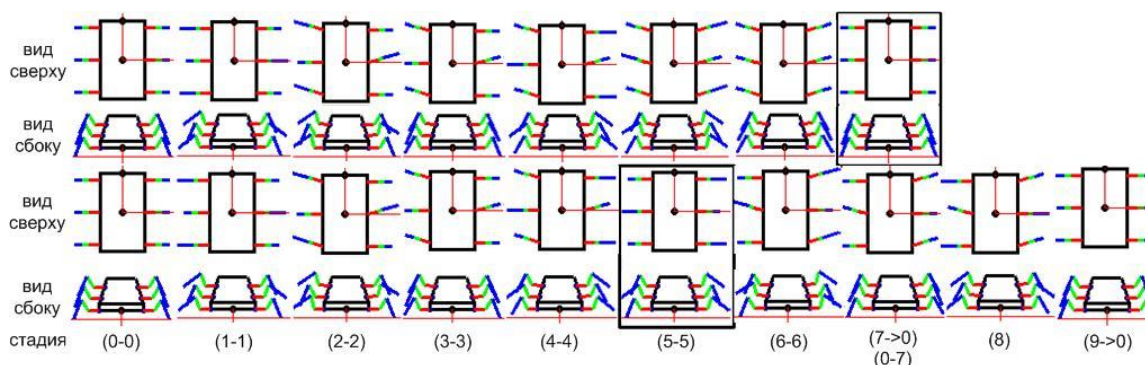


Рисунок 3- Примеры конкретных стадий конечных автоматов

Как можно заметить, на рисунке обведены жирной линией те стадии передвижения робота, на которых осуществляется движение корпуса. Фактически, различные вариации походок ограничиваются только фантазией разработчика и инструментальными возможностями платформ с интегрированной электроникой. Выбор конкретного варианта реализации также остается на усмотрение разработчика, который должен иметь собственное видение задач, которые необходимо решить в конечном итоге. Однако, статья дает хорошую стартовую точку для движения вперед и реализации сложных устройств в области промышленной робототехники, с развитой логикой анализа окружающей среды.

Следует отметить, что приведенные в статье примеры – это упрощенные частные случаи (пригодные для бюджетной электроники), которые могут использоваться в качестве прототипов при построении сложных систем, на базе качественных дорогостоящих высокопроизводительных компонентов интегрированной электроники различных фирм (Siemens, National Instruments, Arduino и т.д.). Упрощенное изложение материала имеет единственную цель – представить самую суть подхода в максимально понятной форме без упоминания многочисленных технических деталей, которые сопровождают любой нетривиальный проект.

Заключение

Доклад рассматривает моделирование шагающих устройств, на основе концепции конечного автомата. Конечный автомат – это абстракция, по сути, набор стадий (или состояний) между которыми осуществляются переходы, возможно, с использованием сторожевых условий. Авторы приводят рекомендации, которые позволяют конкретизировать абстрактную концепцию конечного автомата применительно к практической робототехнике, в частности, к шагающим устройствам. Описываются не абстрактно придуманные, а реально работающие модели конечных автоматов, которые могут быть впоследствии усовершенствованы.

В докладе приведены конкретные, опробованные на практике примеры конечных автоматов, пригодные для создания шагающих устройств любой сложности.

Библиографический список

1. В.А. Иванов, В.С. Медведев. Математические основы теории оптимального и логического управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 600 с.
2. С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов.– 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004.– 480 с.

3. С.А. Воротников Информационные устройства робототехнических систем. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.

4. Проектирование систем приводов шагающих роботов с древовидной кинематической системой: Учебное пособие для вузов / Каргинов Л.А., Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б. [и др.] М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 116 с.

5. Ардуино [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/> (дата обращения: 22.12.2016).

6. Радионов А.А. Электрооборудование и электроавтоматика [Текст] / А.А. Радионов.– Магнитогорск, 2011.– 126 с.

О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ШЕСТИНОГО РОБОТА

Добрынин А.С., Койнов Р.С., Андрианов О.Н.

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

Синтез шагающих устройств на базе типовых элементов

Пригодная для большинства практических случаев конструкция робота-шагохода должна обеспечивать требуемое движение по поверхности с заданной точностью и скоростью, а также передачу управляющих сигналов в режиме реального времени всем исполнительным механизмам (сервоприводам) ног. Отдельная нога робота должна предусматривать необходимое количество степеней свободы для комфортного движения. С другой стороны увеличение количества степеней свободы для ног приводит к росту размерности управляющего сигнала на каждую ногу и, как следствие, к росту вычислений в реальном масштабе времени, что требует в итоге более дорогой и высокопроизводительной микропроцессорной техники, а также скоростных каналов передачи данных. Конструкция ноги шагающего устройства может проектироваться по образу и подобию биологических ног млекопитающих или насекомых, что является разумным подходом с точки зрения затрат и эффективности для небольших бюджетных решений в области робототехники.

Подходы к управлению робототехническими устройствами рассматриваются в работах [1,2]. Важным аспектом проектирования контура передачи управляющего сигнала и принципиальных электрических схем является выбор способа управления робототехническим устройством [3,4]. Большое распространение получили типовые архитектуры робототехнических систем с дистанционным управлением. В качестве беспроводных стандартов передачи данных для дистанционного управления роботом можно выделить следующие технологии:

- 1) Цифровые технологии беспроводных сетей семейства Bluetooth 2.0, 3.0, 4.0 и выше;
- 2) Цифровые технологии беспроводных сетей семейства Ethernet, включая WiFi, Wi-Max (манчестерский код).
- 3) Аналоговое радио.

Существенное снижение затрат на проектирование и разработку шагающих устройств достигается за счет использования типовых электронных компонентов, микроконтроллеров и многофункциональных интегрированных электронных плат. В качестве возможных альтернативных вариантов могут использоваться решения интегрированной электроники на базе National Instruments (myRIO) [6] или Arduino (Uno, Leonardo, Mega) [5]. Фактически, типовые решения позволяют избавиться от большого количества проблем, связанных с отсутствием аппаратной и программной совместимости, а также значительно ускорить процессы разработки и выпуска готовых устройств, для конечного потребителя. Готовые аппаратно-программные решения должны обеспечивать требуемое быстродействие при передаче данных, а также стабильность, безотказность и эффективность работы.

Рассмотрим архитектуру дистанционно управляемого шагающего устройства на базе

платформы Arduino Mega, с аппаратно реализованным UART-интерфейсом и возможностью подключения плат расширения. Компоненты решений для дистанционно управляемого шагающего робота представлены на рисунке 1.

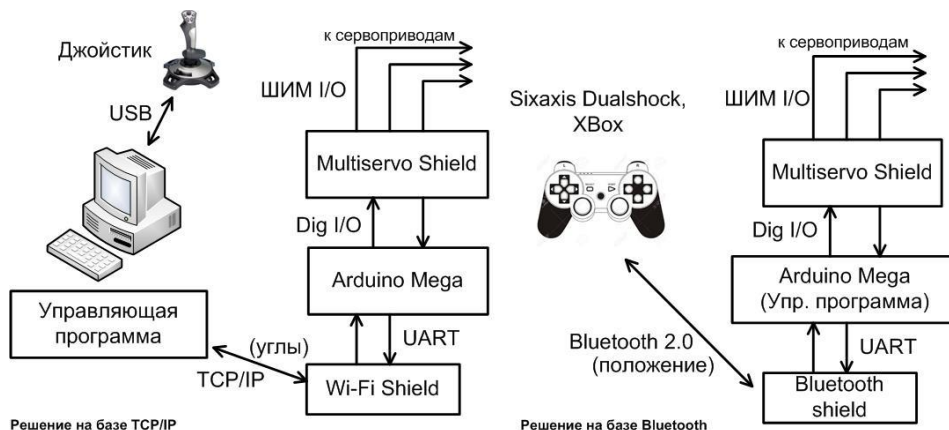


Рисунок 1 – Варианты решений для шагающих роботов

Получение данных контроллером Arduino [6] с плат расширения (Wi-Fi, Bluetooth) осуществляется последовательно (побайтно), с использованием аппаратно реализованных UART-интерфейсов с обеих сторон, для формирования множества управляющих ШИМ-сигналов с устранением “эффекта дрожания”. Также может использоваться модуль Multiservo Shield. Применение Wi-Fi модулей линейки ESP позволяет организовать передачу данных по правилам интернета с помощью стандартного интерфейса сокетов (взаимодействие “клиент-сервер”). Модуль может работать в режиме точки доступа и слушателя (listener). В этом случае необходимо дополнительно позаботиться о логике фильтрации служебного TCP трафика (SYN, ACK, RST) на стороне прошиваемого софта (скетча) контроллера Arduino. Полученные данные, положения углов всех сервоприводов, с отфильтрованной служебной информацией, могут передаваться непосредственно сервоприводам, фиксирующим положения ног при движении робота.

Использование беспроводного промышленного стандарта Bluetooth 2-4 позволяет устранить некоторые промежуточные звенья передачи данных, такие как планшет, нетбук или ноутбук с Wi-Fi адаптером. Bluetooth использует случайную частоту, о которой «договариваются» приемник и передатчик. Она изменяется несколько раз в секунду, что позволяет устранить коллизии, связанные с одновременной работой нескольких устройств в пределах действия радиогоризонта. Беспроводные игровые контроллеры для современных консолей от компаний Microsoft, Sixaxis передают информацию (нажатия кнопок и положения рычагов геймпада) по стандартам Bluetooth последнего поколения. Таким образом, информация передается непосредственно в контроллер Arduino через Bluetooth Shield, который общается с контроллером посредством аппаратного интерфейса UART. К недостаткам такого способа дистанционного управления роботом можно отнести необходимость реализации сложной управляющей логики движения в пространстве (x,y,z) на низкоуровневом языке программирования C, непосредственно в «железе».

Рассмотренные выше подходы, основанные на применении готовых решений и интегрированной электроники позволяют существенно сократить временные и финансовые затраты на создание прототипов шагающих роботов и промышленных образцов. Себестоимость малогабаритных устройств при этом может не превышать несколько десятков тысяч рублей.

Постановки и решения задач оценки состояния покая и управления движением робота

Рассмотрим конкретные частные постановки задачи управления движением робота в трехмерном пространстве (x,y,z). Для точного движения в пространстве может понадобиться карта местности (окрестности), которая реализуется в виде хэш-таблицы (словаря координат), с координатами выдающихся относительной некоей группы базисов точками. Для про-

стоты, в постановках предполагаем, что робот передвигается ограниченно, по относительно ровной поверхности. Содержательно, механизм движения состоит из двух этапов. На первом этапе определяются координаты всех стоящих на поверхности ног робота (т.н. “задача покоя робота”), по конструктивным параметрам корпуса и отдельным отрезкам. Второй этап (т.н. “задача движения робота”) заключается в определении всех углов сервоприводов ног в фиксированном пространстве состояний конечного автомата. Таким образом, движение реализуется конечным автоматом (АТ), который проходит подмножество состояний, перемещаясь из точки $\{x_0, y_0, z_0\}$ в точку $\{x_1, y_1, z_1\}$, выражение (1).

$$AT = \{fr_1, fr_2, \dots, fr_n\} \quad (1)$$

Конечный автомат, по сути, описывает множество конкретных состояний (векторов положений всех углов сервоприводов), которые необходимо пройти последовательно, чтобы выполнить один шаг полностью, включая движение корпуса. Назовем отдельное состояние фреймом (кадр) fr_i , который содержит такую важную информацию для движения, как положения углов сервоприводов, соответственно $0 < i < n$; где n-количество отдельных состояний конечного автомата. Чем больше n- тем более «замысловатое» движение способен реализовать шагающий робот. Следует отметить важный факт, что определенные состояния могут быть достигнуты и обработаны в программном коде только при выполнении неких «сторожевых условий» (border expressions). Поворот может выполняться, только если пройдена ровно половина пути или в самом начале, или с определенной вероятностью, в какой-либо точке пути. Такую траекторию можно реализовать с помощью генератора случайных чисел. Фрейм имеет минимальную временную длительность, которая должна предусматривать необходимость полной отработки приращений всех углов сервоприводов аппаратно, с учетом их инерционности. Таким образом, продолжительность фрейма (состояния) должна быть достаточной, чтобы отработать изменения углов от текущего к новому заданному состоянию, которое задается положением манипулятора (джойстика, геймпада, рычага и т.д.),

$$fr = \{T_{\min}, \overline{Angl}_{curr}, \overline{Angl}_{next}\} \quad (2)$$

где T_{\min} - минимальное время (время фрейма), которое необходимо для поворота сервоприводу, $\overline{Angl}_{curr}, \overline{Angl}_{next}$ значения углов до и после поворота сервоприводов.

Робот может самостоятельно двигаться к заданной точке 1 пространства или (и) управляется манипулятором (рисунок 2).

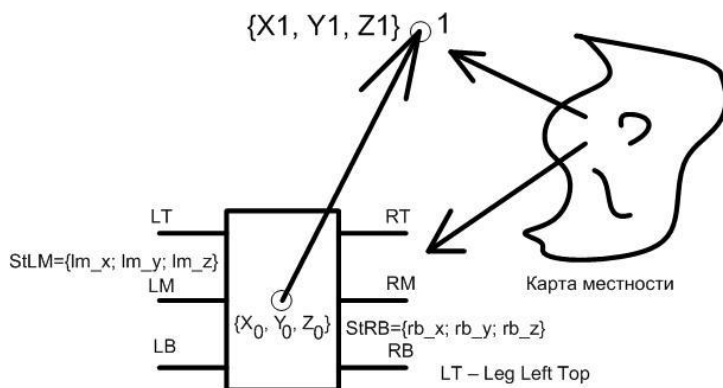


Рисунок 2 – Схема движения шагающего робота

Первый вариант предполагает наличие «условия останова», при достижении определенной погрешности ε положения координаты корпуса и заданной точки. Второй вариант позволяет задавать конечные точки с определенным приращением (вправо, влево) относительно текущих координат ног, см. рисунок 2.

Рассмотрим конструкцию робота с тремя степенями свободы. Первый сервопривод управляет положением ноги в плоскости XOY , крепится к нижней стенке корпуса. Следующие два сервопривода управляют положением ноги в плоскостях XOZ , XOY . В геометрической интерпретации допустимые пространственные области перемещения ног представляют собой пересекающиеся сферы, внутри которых находятся все точки пространства состояний, ограниченные длиной вытянутой ноги (рисунок 3).

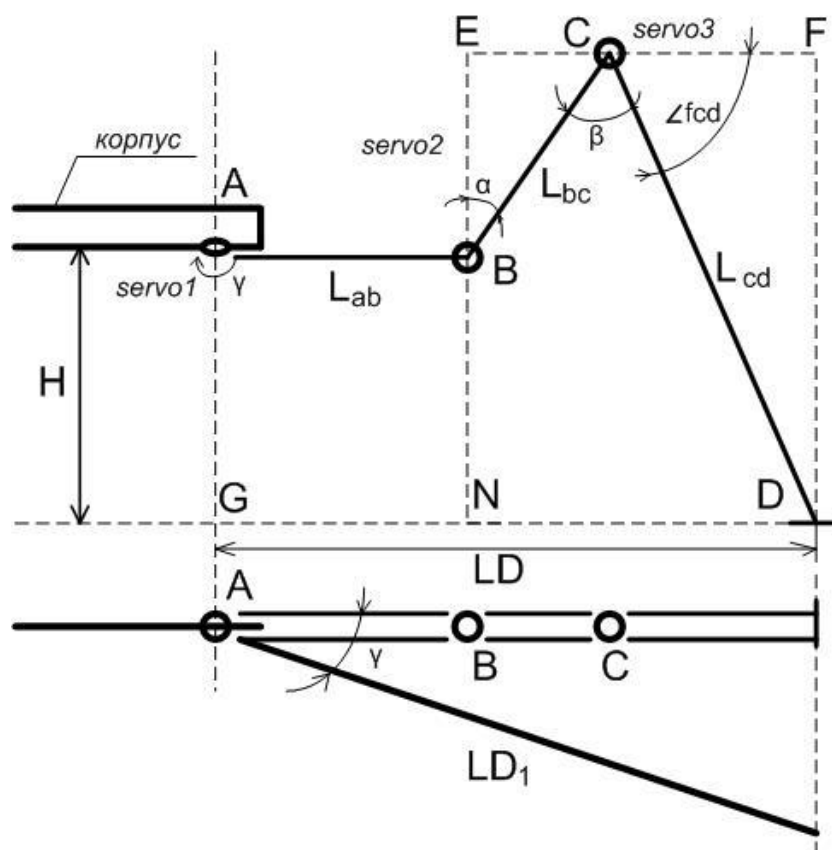


Рисунок 3 – Геометрия отдельной ноги робота (3DOF)

Рассмотрим две разновидности постановки задач оценки состояния покая. Первая разновидность предполагает определение координат x, y, z для всех ног (18 чисел), когда известны углы α, β, γ . Такая постановка проста, логично и очевидна, поскольку робота необходимо первоначально поставить на ноги – то есть задать углы вручную.

Дано:

- 1) Координаты центра конструкции $\{x_0, y_0, z_0\}$ или нулевая точка $(0,0,0)$.
- 2) Размеры корпуса, высота (front, side, h_c).
- 3) Зазор или расстояние от краев до крепления ног (gap), полагаем его примерно одинаковым.

4) Длины участков ног между сервоприводами (L_{ab}, L_{bc}, L_{cd}).

5) Начальные углы ног ($\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0, \hat{\gamma}_0$).

6) Шаг походки step или скорость передвижения.

Требуется:

1) Найти координаты всех ног, стоящих на поверхности ($\hat{x}_d, \hat{y}_d, \hat{z}_d$).

2) Определить высоту конструкции H ($H=NB$), как расстояние от поверхности до нижней точки поверхности корпуса.

Целевое условие:

Выполнение заданной точности определения координат.

Решение задачи достаточно просто, в проекциях на X0Y, X0Z и включает действие.

- 1) $LD(GD) = AB + EC + CF$. Угол $FCD = 180 - (90 - \hat{\alpha}_0) - \hat{\beta}_0$;
- 2) $LD(GD) = L_{ab} + L_{bc} * \sin(\hat{\alpha}_0) + L_{cd} * \cos(FCD)$;
- 3) $LD1 = \text{SQRT}(LD^2 + \text{deltaY}^2)$; $\text{deltaY} = \text{step}/2$ или $\text{deltaY} = \text{step}$;
- 4) $LD1 = \text{SQRT}(LD^2 + \text{step}^2)$;
- 5) $x(LT) = Xc - \text{front}/2 - LD$ – координата x одной ноги;
- 6) $x(RT) = Xc + \text{front}/2 + LD$ – координата x другой ноги;
- 7) $y(LT) = Yc - \text{side}/2 + \text{gap}$ – координата y одной ноги;
- 8) $y(RB) = Yc + \text{side}/2 - \text{gap}$ – координата y одной ноги;
- 9) и т.д.;
- 10) $H = L_{cd} * \sin(FCD) - L_{bc} * \cos(\hat{\alpha}_0)$ – высота корпуса над поверхностью.

Вторая разновидность задачи оценки состояния покоя также предполагает определение координат всех ног робота в пространстве, когда вместо углов сгибов участков ног известно расстояние GD и высота конструкции над поверхностью H. Постановка позволяет учесть требование жестко заданной высоты корпуса при походке.

Дано:

- 1) Координаты центра конструкции $\{x_0, y_0, z_0\}$ или нулевая точка (0,0,0).
- 2) Размеры корпуса (front, side, h_c).
- 3) Зазор или расстояние от краев до крепления ног (gap), полагаем его примерно одинаковым.
- 4) Длины участков ног между сервоприводами (L_{ab}, L_{bc}, L_{cd}).
- 5) Начальное значение угла γ и высота корпуса над поверхностью-H.
- 6) Расстояние GD.

Требуется:

- 1) Определить углы α, β, γ для всех ног робота.
- 2) Найти координаты всех ног, стоящих на поверхности (x, y, z).

Целевое условие:

- 1) Выполнение заданной точности определения координат.
- 2) Выполнение заданной высоты $H^* = H$ корпуса робота при реализации походки.

Решение задачи, в проекциях на X0Y, X0Z включает действия:

- 1) $ND = GD - L_{ab}$; $BD = \text{SQRT}(h^2 + ND^2)$.
- 2) $\beta = \arccos((L_{bc}^2 + L_{cd}^2 - BD^2) / (2 * L_{bc} * L_{cd}))$;
- 3) $CBD = \arccos((BD^2 + BC^2 - CD^2) / (2 * BD * BC))$;
- 4) $DBN = \arctan(ND/H)$;
- 5) $\alpha = 180 - CBD - DBN$ – углы известны. Далее по аналогии с предыдущей задачей;
- 6) $FCD = 180 - (90 - \alpha) - \beta$;
- 7) $LD(GD) = L_{ab} + L_{bc} * \sin(\alpha) + L_{cd} * \cos(FCD)$;
- 8) $LD1 = \text{SQRT}(LD^2 + \text{deltaY}^2)$;
- 9) $LD1 = \text{SQRT}(LD^2 + \text{step}^2)$;
- 10) $x(LT) = Xc - \text{front}/2 - LD$;
- 11) $x(RT) = Xc + \text{front}/2 + LD$;
- 12) $y(LT) = Yc - \text{side}/2 + \text{gap}$;
- 13) $y(RB) = Yc + \text{side}/2 - \text{gap}$;
- 14) и т.д.

Рассмотрим в завершение вторую задачу управления движением робота. Которая является обратной задачей, когда по известным координатам ног на поверхности и приращением координат ног, необходимо найти углы положений сервоприводов. Содержательно, суть ее формулируется следующим образом. По известным координатам ног, стоящих на поверх-

ности (см. выше) и скорости движения робота (или шагу походки) найти углы поворотов всех сервоприводов для каждого фрейма конечного автомата. Такая постановка необходима на практике, для обеспечения плавности движения, поскольку резкие повороты исполнительных механизмов способны сломать конструкции или сбить робота с ног.

Дано:

- 1) Текущие координаты в пространстве всех ног робота ($\hat{x}_d, \hat{y}_d, \hat{z}_d$);
- 2) Скорость движения робота v или шаг походки st , как функция от скорости;
- 3) Продолжительность фрейма конечного автомата, в зависимости от технических характеристик исполнительных механизмов (сервоприводов);
- 4) Количество стадий (размерность n) конечного автомата, в зависимости от реализуемого стиля походки робота.
- 5) Требуемая точность определения углов α, β, γ всех ног.

Требуется:

- 1) Определить углы $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ для всех ног каждой стадии конечного автомата.
- 2) Определить измененные координаты ног при завершении шага.

Целевое условие:

- 1) Выполнение заданной точности определения углов.

Представленная задача движения является обратной, по отношению к рассмотренным выше, поэтому ее решение здесь не приводится. Математически, решение представляет собой простые пространственные матричные преобразования, аналогичные операциям обработки графических 3D-моделей. Для упрощения программной реализации возможно использование готового функционала библиотек DirectX, DirectDraw компании Microsoft.

Практическая реализация рассмотренных задач

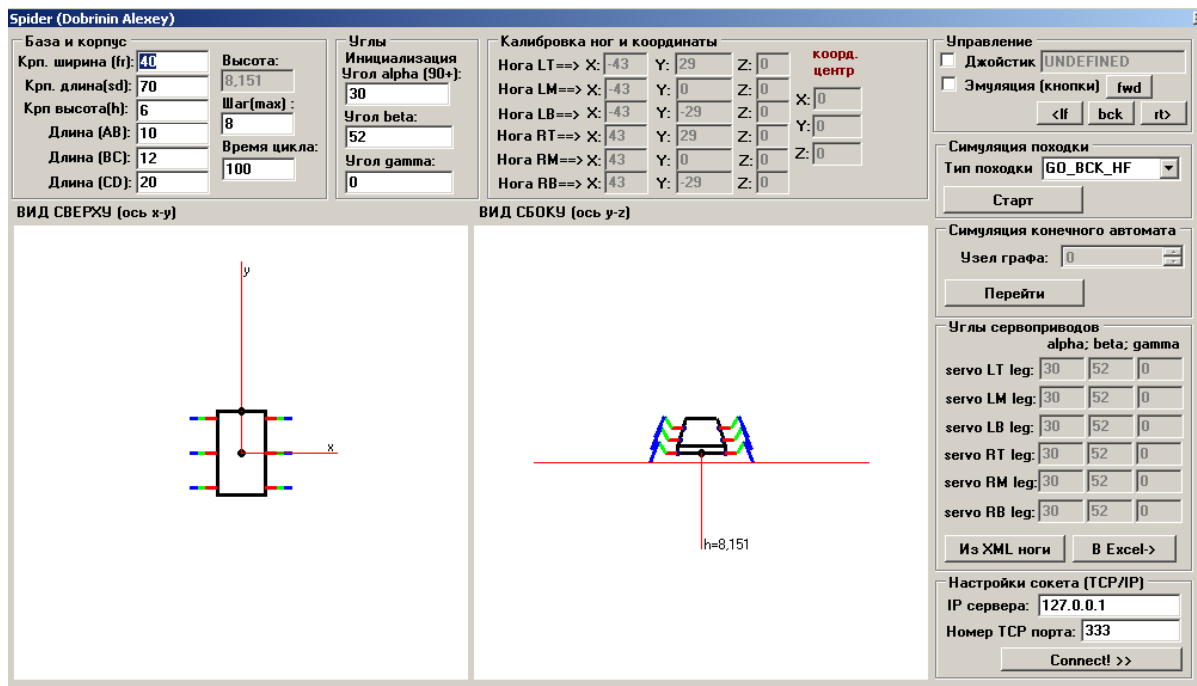


Рисунок 4 – Моделирующий комплекс робота – шагохода

Реализован программный комплекс моделирования поведения шагающих устройств на языке программирования C#, с использованием теории конечных автоматов. Комплекс может использоваться проектировщиками сложных шагающих устройств для формирования и передачи управляющих сигналов непосредственно устройствам с интегрированной электроникой с помощью интерфейсов TCP/IP, Bluetooth. Моделирующий комплекс позволяет

исследовать различные виды походок шестиногих роботов, проектировать сложные шагающие электронные механизмы.

Получены решения всех представленных задач. Предлагаемый подход опробован на практике и позволяет быстро создавать простые шагающие устройства для их применения в условиях относительно ровной поверхности.

Экранная форма разработанного приложения показана на рисунке 4.

Данная работа выполнена в рамках повышения квалификации по дисциплине “проектная деятельность”.

Библиографический список

1. В.А. Иванов, В.С. Медведев. Математические основы теории оптимального и логического управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 600 с.
2. С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов. – 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004.– 480 с.
3. С.А. Воротников Информационные устройства робототехнических систем. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.
4. Проектирование систем приводов шагающих роботов с древовидной кинематической системой: Учебное пособие для вузов / Каргинов Л.А., Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б. [и др.] М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 116 с.
5. Ардуино [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/> (дата обращения: 22.12.2016).
6. Радионов А.А. Электрооборудование и электроавтоматика [Текст] / А.А.Радионов.– Магнитогорск, 2011. – 126 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗЫНЕРЦИОННЫМИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Михов Е.Д.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Идентификация многих стохастических объектов часто сводится к идентификации статических систем. Наиболее общая схема исследуемого дискретно-непрерывного процесса может быть представлена на нижеследующем рисунке [1, 2, 3]:

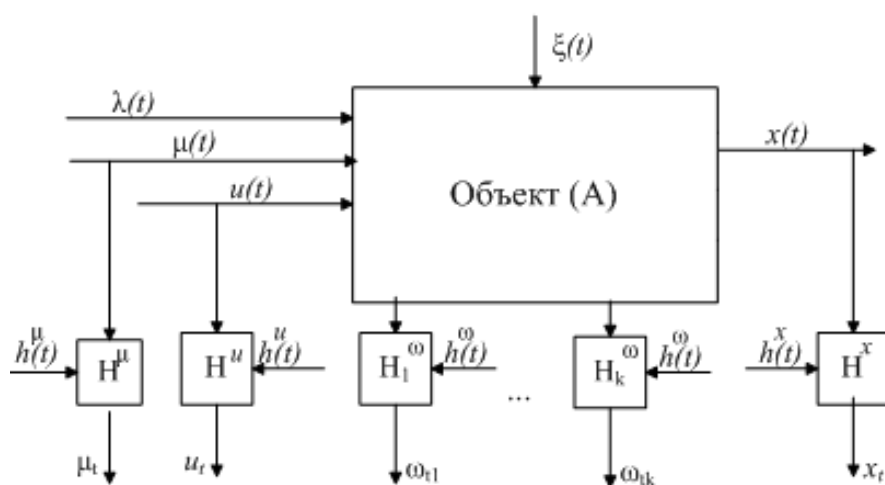


Рисунок 1 – Общая схема исследуемого процесса

На рисунке 1 приняты обозначения: A – неизвестный оператор объекта, $x(t)$ –

выходная характеристика процесса, \vec{u} – вектор управляющих воздействий.

При исследовании подобных процессов часто возникает необходимость в выделении существенных признаков, влияющих на $x(t)$, а также их ранжирование по степени влияния на $x(t)$. Для примера, можно привести процесс диагностики заболеваний, если еще не разработано методики для диагностики какого-либо заболевания, то крайне важно понимать какие факторы будут иметь большее значение для диагностики, какие — меньшее, а какие вообще не будут свидетельствовать о наличии или отсутствии заболевания.

Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что данная задача является актуальной. Создание методики для выделения существенных признаков при идентификации безынерционных объектов, может быть применено во многих отраслях и помочь в идентификации процессов, а также понять природу процессов.

Информативность признаков

Те признаки, значение которых имеет слабое влияние на принадлежность объекта к какому-либо классу, называются - менее информативными, а те, значения которых точно определяют - к какому классу принадлежит объект - более информативными.

Безусловно степень информативности - понятие относительное и его определение - непростая задача.

Существует два способа оценки информативности признаков прямой и косвенный.

Прямой состоит в следующем: необходимо найти такой вектор признаков $\vec{n} = (n_1, n_2, \dots, n_m)$, $R(\vec{n}, \vec{c}s) \rightarrow 0$ где $R(\vec{n}, \vec{c}s)$ - средняя ошибка классификации (1).

$$R(\vec{n}, \vec{c}s) = \frac{r}{s} \quad (1)$$

где s - общее количество классифицируемых объектов,

r - количество верно классифицируемых объектов.

Также существует косвенный путь, согласно которому степень информативности признаков оценивается на основе их свойств распределения: $M(n_1), \dots, M(n_m), D(n_1), \dots, D(n_m)$, где $M(\cdot)$ - это математическое ожидание, а $D(\cdot)$ - это дисперсия.

В настоящее время наибольшей популярностью косвенного пути классификации пользуется оценка степени информативности по критерию Фишера, согласно которому небольшая дисперсия признака свидетельствует о высокой степени информативности данного признака. В статье будет рассмотрен прямой способ оценки информативности.

Алгоритмы оценки информативности признаков на основе оптимизации параметра размытости ядра

Предположим стоит задача из m признаков выбрать n ($n < m$) информативных. Существует несколько алгоритмов для выполнения данной задачи.

Алгоритм Del.

Согласно этому алгоритму, первоначально из выборки всех признаков необходимо исключить признак n_1 и рассчитать $R(n_2, \dots, n_m)$ у модели построенной на основании признаков n_2, \dots, n_m где $R(n_2, \dots, n_m)$ средняя ошибка классификации. Затем таким же способом исключаются n_2, \dots, n_m и рассчитываются $R(n_1, n_3, \dots, n_m), \dots, R(n_1, \dots, n_{m-1})$, соответственно. Признак с наименьшей степенью информативности находится по правилу:

$\max R(n_1, \dots, n_{i-1}, n_{i+1}, \dots, n_m) \rightarrow \min I(n_i)$ где n_i - признак с наименьшей степенью информативности, он является «кандидатом на исключение». После этого остается $m - 1$ признак. Алгоритм необходимо повторять, пока в итоге не останется n наиболее информативных признаков.

При данном подходе количество проделанных итераций для отбора наиболее информативных признаков вычисляется по формуле (2).

$$L = m + (m-1) + (m-2) + \dots + (n+1) = \sum_{i=1}^{m-n} (m-i) \quad (2)$$

Алгоритм Ad.

Согласно этому алгоритму необходимо для каждого n_i оценить $R(n_i)$, затем наиболее информативный признак выбирается по правилу: $\min R(\cdot) \rightarrow \max I(\cdot)$. Таким образом будет найден первый наиболее информативный признак. К найденному признаку поочередно добавляются $n_1, \dots, n_{i-1}, n_{i+1}, n_m$, в результате исследователь получает соответствующие наборы признаков $(n_i, n_1), \dots, (n_i, n_m)$, на основании которых он рассчитывает $R(n_i, n_1), \dots, R(n_i, n_m)$. Снова выбирается наиболее информативный набор признаков по вышеуказанному правилу. Данную операцию необходимо повторять пока не будет набран набор из n признаков. При данном подходе количество проделанных итераций для отбора наиболее информативных признаков равна количеству итераций в алгоритме Del.

Алгоритм AdDel.

В предыдущие продемонстрированные алгоритмы отбора наиболее информативных признаков входят в класс так называемых «жадных» алгоритмов.

Проблема таких алгоритмов в том, что при получении оптимального решения на каждом шаге они не обеспечивают нахождения глобального оптимума. Под глобальным оптимумом здесь имеется ввиду такой $\vec{n}_{min}, n_1, \dots, n_r$, $R(\vec{n}_{min}) \rightarrow \min$.

Для частичного устранения недостатков этих алгоритмов, используют «релаксационный» алгоритм (алгоритм AdDel). Согласно этому алгоритму исследователь сначала при помощи алгоритма Ad находит a_1 самых информативных признаков, затем при помощи алгоритма Del исключает a_2 ($a_2 < a_1$) признаков из выбранных. Данный алгоритм повторяется пока не будет найден набор состоящий из n признаков.

У данного алгоритма есть одна особенность. Критерий качества (в данном случае средняя точность классификации) при использовании данного алгоритма изменяется, согласно рисунку 2.

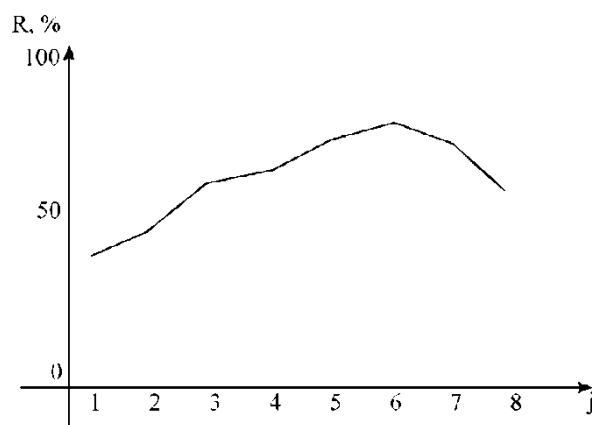


Рисунок 2 – Зависимость точности классификации от количества используемых признаков

Как видно на рисунке 2 увеличение количества признаков сначала приводит к увеличению точности классификации, но затем в набор признаков попадают мешающие (шумовые) признаки, что приводит к ухудшению качества классификации. Этот «перегиб» функции $R(\vec{n})$ позволяет автоматически указать оптимальное (под критерием оптимальности понимается средняя точность классификации) количество признаков, что очень важно для задач классификации. Было доказано, что представленные алгоритмы нахождения наиболее существенных признаков не всегда приводят к удовлетворительному

результату[2].

Был предложен новый метод нахождения информативных признаков.

Перед использованием алгоритма оценки информативности признаков на основе оптимизации параметра размытости ядра, необходимо провести центрирование и нормирование элементов вектора \mathbf{u} из обучающей выборки.

Непараметрическая оценка функции регрессии по наблюдениям имеет вид (3) [3]:

$$x_s(\mathbf{u}) = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{u_j - u_{ji}}{c_{sj}}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n \Phi\left(\frac{u_j - u_{ji}}{c_{sj}}\right)}, \quad (3)$$

где $x_s(\mathbf{u})$ – это непараметрическая оценка функции $x(\mathbf{u})$ в точке \mathbf{u} .

Как видно из (1) с каждой компонентой вектора \mathbf{u} мы связали соответствующую компоненту вектора \mathbf{c}_s . Далее, на основании имеющийся обучающей выборки необходимо найти оптимальные $c_{s1}^*, c_{s2}^* \dots c_{sn}^*$ из условия минимума (4)

$$\sigma(\mathbf{c}_s) = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{k=1}^S (x_s(\mathbf{u}_k, \mathbf{c}_s) - x_k)^2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где, с учетом (1) $k \neq i$.

После нахождения вектора \mathbf{c}_s^* , необходимо произвести сортировку элементов вектора \mathbf{c}_s^* от наименьшего по модулю к наибольшему по модулю. Таким образом, получится цепочка неравенств, например, цепочка, может иметь следующий вид: $|c_{s2}^*| < |c_{s9}^*| < |c_{s1}^*| < \dots < |c_{s4}^*| < |c_{s3}^*|$, тот компонент вектора \mathbf{u} у которого соответствующий элемент вектора \mathbf{c}_s^* оказался наибольшим, является кандидатом на исключение из непараметрической оценки, как наименее информативный.

Вычислительный эксперимент Проведем вычислительные эксперименты по нахождению наиболее информативных переменных в задаче восстановления функции по наблюдениям.

У изучаемого объекта будет 10 входных переменных и 1 выходная. Воздействие помехи равно 5%. Размер выборки равен 1000. Далее используем приведенные выше правила поиска наиболее информативных признаков на основе оптимизации вектора \mathbf{c}_s . Оптимизация производится при помощи алгоритма Неддлера-Мидда (деформируемого многогранника).

Исследуем будет случай, при котором на выходную переменную действуют два мало информативных переменных.

Объект описывается формулой (4):

$$\begin{aligned} x(\mathbf{u}) = & 3.62u_1 + 3.69u_2 + 3.79u_3 + 0.75u_4 + 3.73u_5 + \\ & 3.61u_6 + 3.79u_7 + 3.78u_8 + 0.62u_9 + 3.61u_{10} \end{aligned} \quad (5)$$

Стоит отметить, что формула, описывающая объект неизвестна исследователю, она используется только для генерации выборки.

Исходя из формулы (5), можно заключить, что переменные u_4 и u_9 – мало информативные. Следовательно, по сформулированному выше правилу они должны быть исключены, что и происходит.

Результаты вычислений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты нахождения наиболее информативных признаков

Такт 1, ошибка моделирования: 5.5%			Такт 2, ошибка моделирования: 5.0%		
Номер входной переменной	Компоненты вектора α	c_s	Номер входной переменной	Компоненты вектора α	c_s
1	3.62	0.59	1	3.62	0.83
2	3.69	0.55	2	3.69	0.91
3	3.79	0.53	3	3.79	0.43
4	0.75	1.26	4	0.75	1.23
5	3.73	0.87	5	3.73	0.90
6	3.61	0.56	6	3.61	0.55
7	3.79	0.70	7	3.79	0.53
8	3.78	0.69	8	3.78	0.87
9	0.62	2.72	-	-	-
10	3.61	0.51	10	3.61	0.75
Такт 3, ошибка моделирования: 4.3%			Такт 4, ошибка моделирования: 6.1%		
Номер входной переменной	Компоненты вектора α	c_s	Номер входной переменной	Компоненты вектора α	c_s
1	3.62	0.70	-	-	-
2	3.69	0.64	2	3.69	0.76
3	3.79	0.58	3	3.79	0.48
-	-	-	-	-	-
5	3.73	0.63	5	3.73	0.69
6	3.61	0.69	6	3.61	0.67
7	3.79	0.67	7	3.79	0.59
8	3.78	0.65	8	3.78	0.72
-	-	-	-	-	-
10	3.61	0.57	10	3.61	0.58

Символ «-» обозначает отсутствие компонент вектора α при описании исследуемого процесса.

Как видно из таблицы 1, неинформативные признаки были верно определены на первых двух тактах, о чем свидетельствует уменьшение ошибки моделирования. Когда была извлечена переменная u_1 , на третьем такте, это привело к увеличению ошибки моделирования, что свидетельствует об информативности переменной u_1 .

Таким образом, изложенная выше методика, нахождения информативных признаков в задачах идентификации представляется обнадеживающей, что подтверждается результатами многочисленных вычислительных экспериментов.

Заключение

Предложен метод оценивания информативности признаков (параметров) процесса. Также представлены результаты использования данного метода, которые доказывают его эффективность. Сложность заключается только в оптимизации вектора коэффициентов размытости ядра. Были представлены результаты анализа процесса с «трубчатой» структурой.

Данный метод выбора признаков позволяет сократить количество ошибок классификации и отсеять неинформативные признаки. Исследования могут быть применены в медицине для диагностики заболеваний, в неисследованных технических процессах, для понимания структуры данных процессов и их дальнейшего моделирования.

Работа была поддержана министерством образования. Соглашение: 14.578.21.0247.

Уникальный идентификатор: RFMEFI57817X0247.

Библиографический список

1. Советов Б.Я, Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – Москва: Высшая школа, 2001. – 343 с.
2. Француз А.Г. О влиянии корреляции между признаками на информативность для распознавания образов / А.Г. Француз // Изв. АН СССР. Сер. Техн. Кибернетика. 1964. - № 4. - С. 68-77.
3. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах/ Я.З. Цыпкин. – Москва: Наука, 1968г. – 400с.

ФИЗИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Гусев С.С.

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

Ядерная энергетика как отрасль представляет собой совокупность производственных звеньев – от добычи ядерного топлива до ликвидации отходов, обладающих своей спецификой и характеризующихся различной степенью опасности [1]. В широком смысле главная специфическая особенность ядерной энергетике – ее потенциальная радиационная опасность, способная проявить себя как непосредственно в ходе того или иного технологического процесса, так и спустя значительный промежуток времени. Радиационная опасность связана как с наличием естественных радионуклидов, сопутствующих урану и торию, добываемых из недр, и являющихся продуктами их радиоактивного распада, так и, в значительно большей мере, с радиоактивными продуктами деления и захвата нейтронов, образующимися в ядерных реакторах. Проблема радиационной безопасности возникает на всех этапах топливного цикла ядерной энергетике и решается в соответствии со спецификой тех или иных производственных процессов.

Одним из наиболее ответственных с точки зрения радиационной опасности звеньев системы ядерной энергетике являются собственно производители энергии – ядерные энергетические установки (ЯЭУ). Как правило, ядерные энергетические реакторы характеризуются высокой плотностью энерговыделения, высокими температурами, высоким давлением теплоносителя, большим количеством радиоактивных продуктов деления в топливе. Проблема радиационной безопасности при нормальной эксплуатации ЯЭУ решается средствами биологической защиты; наличием фильтров, ограничивающих выброс радионуклидов в окружающую среду; нормированием условий работы производственного персонала; созданием санитарных зон с повышенным контролем и ограничениями на проживание населения. Как в любом техническом устройстве, в ЯЭУ могут возникать условия, приводящие к нарушению нормальной эксплуатации (технические отказы, ошибки персонала и пр.). Концепция безопасности ЯЭУ при нарушении нормальных условий эксплуатации состоит в том, чтобы при

любом инциденте не допустить или, в крайнем случае, максимально ограничить разрушение топлива и попадание большого количества радионуклидов, превышающего установленные допустимые пределы, в окружающую среду. Специфика ЯЭУ как источника энергии и одновременно источника радиационной опасности приводит к кругу проблем, объединяемых понятием ядерной безопасности.

В «Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций» (ОПБ-88/97) [2] даны определения понятий «безопасность атомной станции (АС)» и «ядерная авария»:

Безопасность АС, ядерная, радиационная – свойство АС при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами.

Ядерная авария – авария, связанная с повреждением твэлов, превышающим установленные пределы безопасной эксплуатации, и/или облучением персонала, превышающим разрешенные пределы, вызванная нарушением контроля и управления цепной ядерной реакцией деления в активной зоне реактора, возникновением критичности при перегрузке, транспортировании и хранении твэлов, нарушением теплоотвода от твэлов, другими причинами, приводящими к повреждению твэлов.

Как следует из определения ядерной аварии, одна из основных ее причин – нарушение баланса между тепловыделением и теплоотводом, способное привести к разрушению топлива.

Хотя в истории ядерной энергетики имели место инциденты с тяжелыми последствиями, произошедшие на заглушенных реакторах (Виндскейл, Англия, 1957 г.; Три-Майл-Айленд, США, 1979 г.; Фукусима, Япония, 2011 г.), наибольшую тревогу вызывает потенциальная возможность неуправляемого разгона реактора с разрушением активной зоны и выбросом большого количества радиоактивных продуктов. Единственная авария такого рода с катастрофическими последствиями произошла в 1986 г. на Чернобыльской АЭС.

Ядерная энергетика служит одной из основ индустрии многих развитых стран [3], занимая в ряде из них первое, в сравнении с другими видами энергетики, место по выработке электроэнергии. Проблемы ее безопасности сложны и разнообразны: захоронение отходов и уменьшение потребности в добыче урана, эффективное использование обедненного урана и, конечно же, предотвращение тяжелых аварий на реакторах.

В реакторах любого типа определяющими физическими процессами являются нейтронно-ядерные реакции, приводящие к выделению энергии в его активной зоне, и отвод от этой зоны тепла, используемого затем для получения электроэнергии. Работающий реактор поддерживается в критическом состоянии, когда число выделяющихся нейтронов таково, что вырабатываемая мощность практически не зависит от времени. В подкритическом режиме нейтронов появляется меньше, чем теряется, и реакция деления быстро затухает. В надкритическом состоянии, наоборот, нейтронный выход слишком велик, и это может привести к разогреву и взрыву активной зоны.

В обычных реакторах критическое состояние физически неустойчиво, оно поддерживается искусственно с помощью очень сложной системы управления. Без такой системы происходит выход либо на подкритический, либо на надкритический режимы. Реактор делается с запасом реактивности (надкритичность), который компенсируется введением в активную зону специальных графитовых стержней, поглощающих избыточные нейтроны. Если же по мере выгорания топлива реактивность уменьшается, то управляющие стержни частично выводятся из системы и нейтронный поток вырастает до величины, необходимой для плановой работы реактора.

Характерное время отклонения от критического состояния определяется в основном периодом запаздывающих нейтронов, то есть нейтронов, выделяющихся из осколков деления лишь некоторое время спустя после реакции распада. Этот период менее одной минуты, что предъявляет весьма жесткие требования к системе управления. Именно за это короткое время она должна принять и реализовать соответствующее решение при возникновении непредвиденных ситуаций.

Главная идея физически безопасного реактора – компоненты топлива должны быть подобраны так, чтобы, во-первых, его характерное время было заметно больше минуты и, во-вторых, чтобы в режиме его работы появились элементы саморегулирования.

Этого можно достичь, если в реакторе среди прочих реакций будет достаточно заметной следующая цепочка превращений – рисунок 1.

При распаде одного ядра ^{235}U обычно испускается от 1 до 8 (в среднем - 2,5) свободных нейтрона. Каждый нейтрон, образовавшийся при распаде ядра ^{235}U , при условиях взаимодействия с другим ядром ^{235}U , может вызвать новый акт распада, это явление называется цепной реакцией деления ядра.

Достаточно полная математическая модель активной зоны реактора должна включать в себя модели нестационарных пространственно трехмерных процессов переноса нейтронов в сильно неоднородной среде, выгорания топлива и реакторной кинетики, а также модель отвода тепла.

Однако для проверки осуществимости выдвинутой физической идеи, причём с хорошей количественной точностью, можно ограничиться более простой моделью. Первое упрощение – раздельный анализ нейтронно-ядерных процессов и процесса теплоотвода (оно оправдано при больших временах регулирования). Собственно нейтронные процессы вполне допустимо изучать не в трехмерной, а в одномерной геометрии, рассматривая их к тому же в диффузионном и одnogрупповом приближении (последнее означает, что соответствующим образом усредняются спектральные характеристики нейтронов).

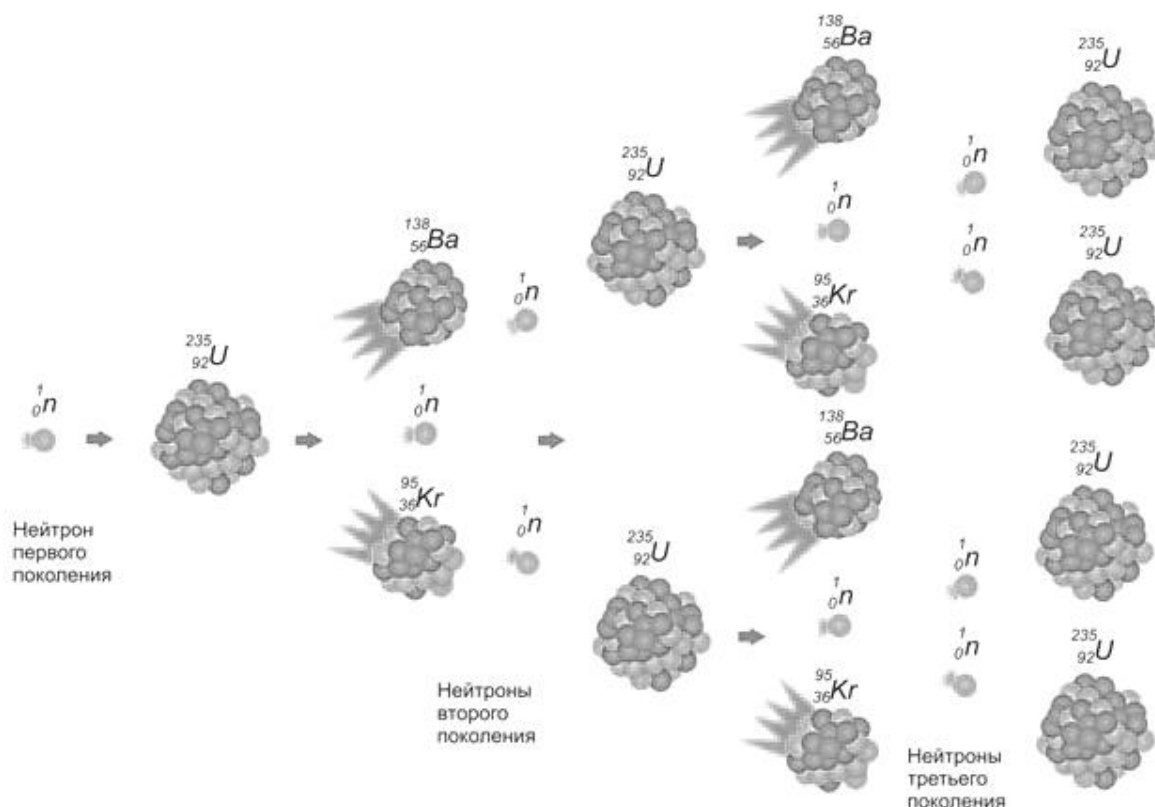


Рисунок 1 – Цепочка распада ядра ^{235}U

Получающиеся при этих упрощениях уравнения переноса нейтронов по своему типу в некотором смысле близки к уравнениям теплопередачи. Они решаются совместно с уравнениями реакторной кинетики для шести групп предшественников запаздывающих нейтронов (уравнения типа радиоактивного распада, но с учетом источников нейтронов) и уравнениями выгорания для почти двадцати типов изотопов U, Pu, Np и других элементов. Разделение этих трех моделей невозможно, поскольку большинство искомым величин фигурирует во всех уравнениях. Метод решения – полудискретная (пространственная) аппроксимация ис-

ходной модели с последующим численным интегрированием получающейся сложной системы обыкновенных дифференциальных уравнений высокой размерности.

Типичный вычислительный эксперимент состоит в задании начальной критической сборки (то есть смеси веществ и геометрии активной зоны таких, чтобы получившийся реактор был критическим) и изучение эволюции со временем основных характеристик реактора. Начальная сборка находится с помощью специального предварительного вычислительного эксперимента.

Эксперименты с моделью отвечают на вопрос об устойчивости реактора к сильным возмущениям (авариям). Например, возможен выброс теплоносителя из активной зоны в результате самопроизвольного разрыва оболочки трубопровода.

Таким образом, математическое моделирование и вычислительный эксперимент позволяют не только качественно, но и количественно изучать один из перспективных способов повышения безопасности ядерной энергетики.

Библиографический список

1. Наумов В.И. Физические основы безопасности ядерных реакторов: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: НИЯУ МИФИ. 2013. 148 с.
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ – 88/97 (Официальный документ). М., Госатомнадзор.
3. Трофимов А.И. Приборы контроля ядерных энергетических установок. Учебное пособие по курсу «Приборы контроля ЯЭУ». Обнинск, 1991. – 234 с.

ПОДСИСТЕМА СВЯЗИ КВАДРОКОПТЕРА НА ОСНОВЕ ARDUINO И КОМПЬЮТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОМОДУЛЯ NRF24L01+

Дворянчиков М.В., Ляховец М.В.

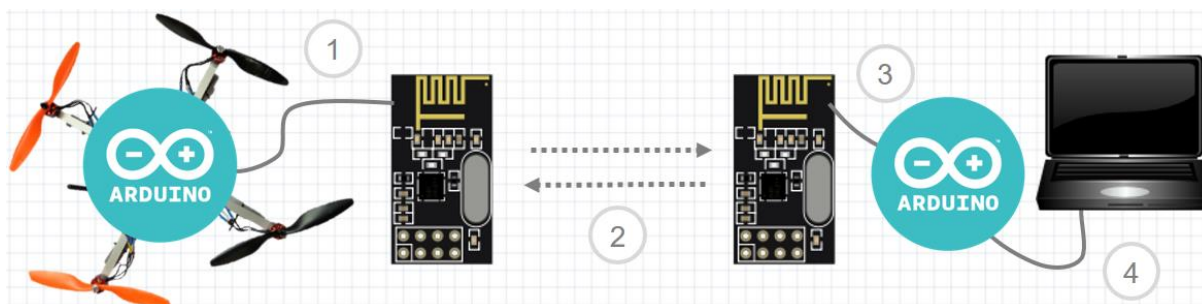
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Подсистема связи квадрокоптера выполняет функции радиообмена между пунктом управления (ПУ) и летательным устройством в целях выдачи заданий и контроля летательного аппарата в полете. Для осуществления радиообмена необходимы модули связи способные контактировать друг с другом, а также дополнительное оборудование для доведения и/или преобразования сигнала до устройств конечной обработки. Обычно при создании связи для экспериментальных радиоуправляемых моделей используются безлицензионные частоты с допустимой мощностью излучения [1].

Как отмечалось в [2] радиомодуль Nrf24l01+ обладает низкой стоимостью, дальностью связи до 1 км при передаче до 300 кб/с и возможностью многоканального обмена информацией (127 каналов 2.4 ГГц).

Вычисления, связанные с обработкой показаний сенсоров, изменением тяги двигателей, происходят на стороне ПУ; на борту летательного устройства происходит реализация полученных команд управления, сбор показаний сенсоров и отправка полученных значений в ПУ. Для определения текущей высоты используется барометр, а для определения положения в пространстве используются гироскоп (расчёт углового ускорения) и акселерометр (расчёт угловой скорости). Полётный контроллер выполняет функции передачи телеметрических данных в ПУ, получение и выполнение управляющих команд для регулирования оборотов двигателей. Используя полученные данные ПУ рассчитывает текущее положение устройства и требуемое напряжение для регуляторов оборотов, которые в свою очередь после получения команд выдают напряжение двигателям, тем самым изменяя их тягу и обеспечивая управление полётом [3].

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия БПЛА и ПУ.



1 – соединение *Arduino* с «*nrf24l01 +*» на стороне БПЛА; 2 – обмен информацией между радиомодулями; 3 – соединение *Arduino* с «*nrf24l01 +*» на стороне пункта управления; 4 – соединение *Arduino* с компьютером.

Рисунок 1 - Схема взаимодействия БПЛА и ПУ

На борту летательного аппарата используется *Arduino Nano* обладающая компактным размером и достаточным количеством для управления контактов ввода/вывода. Для того, чтобы не было перезагрузок платы в связи с проседанием напряжения на *Arduino Nano* радиомодуль питается не от контроллера, а отдельно от источника питания. Принципиальная схема их соединения, построенная в специализированном пакете для виртуального моделирования электрических цепей и схем *Fritzing* [4], представлена на рисунке 2.

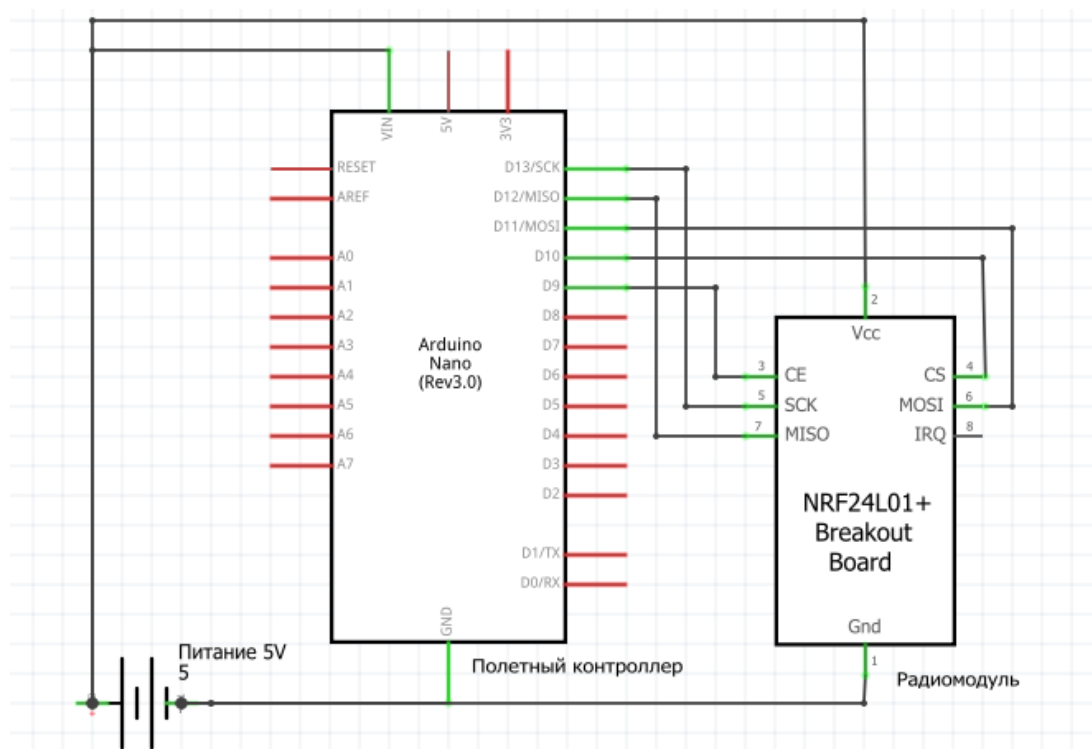


Рисунок 2 – Принципиальная схема. Соединение *Arduino* и радиомодуля *Nrf24l01+*

Аналогичным образом *Nrf24l01 +* подключается к *Arduino* и на стороне пункта управления.

Для осуществления обмена информацией используется библиотека *rf24* [5]. Данные передаются в виде пакетов размерами по 32 байта. 1 пакета достаточно, как для передачи информации собранной с датчиков БПЛА (угловая скорость, угловое ускорение, показания барометра), так и для передачи команд управления с ПУ (4 значения для регуляторов оборотов). Среднее время доставки пакета составляет до 1000 мкс. Радиомодуль в один момент времени может работать только как приемник или передатчик. Для двухстороннего обмена

после получения данных Nrf24l01+ переключается в режим отправки (подается 0 на пин CE), выполняет функцию write() и снова настраивается на прием (подается 1 на пин CE) и выполняется функция read(). Диаграмма деятельности приема и передачи информации между радиомодулями представлена на рисунке 3.

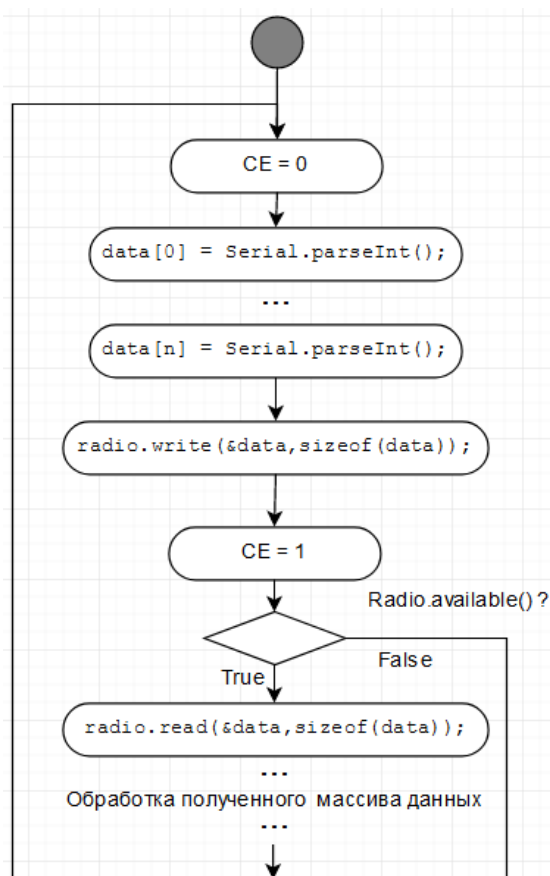


Рисунок 3 – Диаграмма деятельности. Цикл обмена информацией между радиомодулями Nrf24l01+

Соединение Arduino с компьютером происходит через USB-порт. Для обработки сигналов используется платформа dotNet. В связи с необходимостью постоянного считывания данных с пульта управления и одновременных получения/отправки, обработки телеметрических данных организованы асинхронно работающие потоки. Работа с USB осуществляется с использованием пространства имен *System.IO.Ports*.

Данная подсистема связи квадрокоптера может использоваться и для любых других устройств, требующих рассылки команд или получения информации с датчиков и осуществления многостороннего обмена информацией, может быть использована для создания систем домашней автоматизации, учебных робототехнических систем. При этом следует отметить, что такие модули, как Arduino и nrf24l01 не предназначены для применения в промышленных масштабах, на объектах, от которых может зависеть человеческая жизнь. Они предназначены для обучения, создания быстрых прототипов и не обладают высокой надежностью.

Библиографический список

1. Постановление Правительства РФ от 12 октября 2004 г. N 539 "О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств" (с изменениями и дополнениями): [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12137217/>. (Дата обращения: 09.10.2017).
2. Дворянчиков М.В. Обзор модулей беспроводной передачи данных для робототехнических систем // Современные тенденции развития науки и производства: материалы III

Международной научно-практической конференции. - Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2016. – С.135-137.

3. Дворянчиков М.В. Беспилотный летательный аппарат вида квадрокоптер на основе Arduino // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: материалы IV Международной научно-практической конференции. - Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2016. – С.74-77.

4.. Платформа для виртуального моделирования цепей и схем Fritzing: [Электронный ресурс]. URL: <http://fritzing.org/home/>. (Дата обращения: 08.10.2017).

5. Arduino driver for nRF24L01 2.4GHz Wireless Transceiver: [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/maniacbug/RF24>. (Дата обращения: 08.10.2017).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Носков В.Ю., Пухов С.И., Трофимов П.Ю.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Наличие в почве достаточного количества влаги, необходимой для удовлетворения огромной потребности в ней со стороны культурных растений, надо отнести к одному из главных факторов урожайности этих растений, а для некоторых засушливых районов почвенная влага является моментом и решающим.

Влажность почвы - это содержание в почве влаги в трех состояниях (твердом, жидком и газообразном). Влажность почвы выражается в процентах от массы сухой почвы или от объема [1]. От этой величины соотношения, влаги и воздуха в почве, зависит в большей степени рост и развитие растений.

В современном сельском хозяйстве при выращивании растений с использованием автоматизированных систем полива, где количество полива растений очень важно и влияет на урожайность, используют датчики влажности почвы. Эти датчики дают наиболее точную информацию о количестве влаги у корневой системы растений. На текущий момент, основными методами проведения автоматизированных измерений влажности почвы являются тензометрический, измерение диэлектрической проницаемости, электрического сопротивления. Однако, существующие методы требуют калибровки и периодической поверки на различных почвах.

Фактически, почва состоит из твердых частиц, между которыми размещается вода и воздух. Чем больше пористость почвы, тем более в ней может содержаться воды и воздуха. Жизнедеятельность растений и почвенных микроорганизмов в значительной степени определяется наличием в почве возможно большего количества влаги при условии достаточного количества воздуха, создающих благоприятные условия для питательного режима в почве. Общий объем воздуха и воды – также определяется пористостью (порозностью) почвы

Таким образом, одним из важных аспектов определения влажности является определение соотношения между воздухом и водой в почве. В рамках данной работы оценивалась возможность использования характеристик поглощения звуковых и ультразвуковых при распространении через почву в качестве критерия оценки влажности.

Для проведения экспериментов был собран прибор, который является генератором и анализатором продольных звуковых волн. За основу брали уже готовые платы контроллеров: Arduino Nano и Arduino Pro Mini. Генерируемый сигнал – прямоугольные импульсы с частотой 1-64 кГц. Измерения уровней производились с частотами 10-150 кГц. Контроллер «Master» сообщает контроллеру «Slave» частоту прямоугольных импульсов, которые необходимо сформировать и переходил в режим съема данных на входе. Контроллер «Slave» запускал периодический сигнал продолжительностью 1 сек указанной частоты. В качестве излучателя

и приемника звукового сигнала – использовались пьезодатчики.

В рамках данной работы не ставилась задача получения точной формы результирующего импульса при воздействии прямоугольного сигнала на входе. Задача стояла в фиксации различного характера результирующих результатов измерений для почвы с различной влажностью.

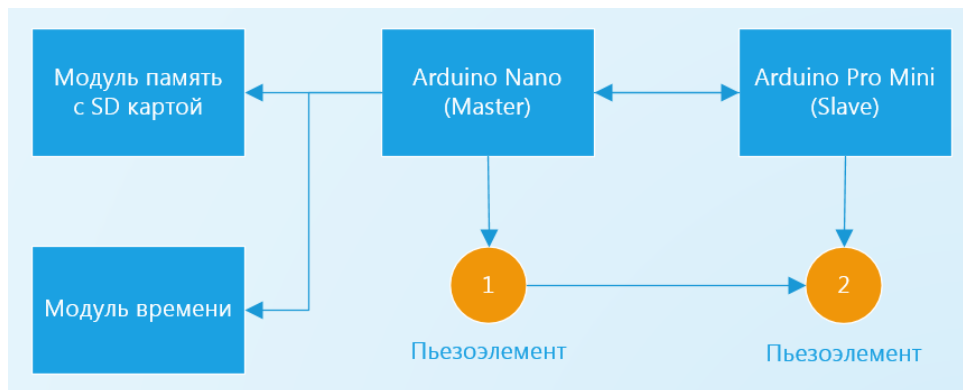


Рисунок 1 - Функциональная схема прибора

После готовой модели началась разработка прибора из подручных и общедоступных средств. Использовались простые элементы, приобретенные в радиомагазинах города, которые в совокупности представляли собой наш измерительный прибор.

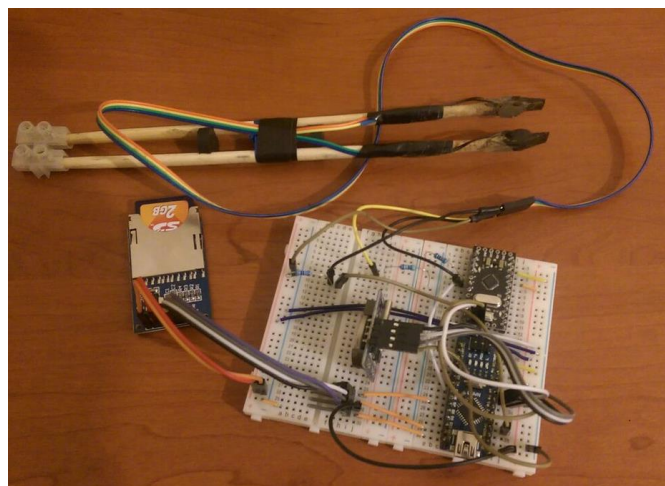


Рисунок 2 - Изготовленный прибор

Для проведения последующих опытов использовался грунт и песок. При выполнении работы и проведении опытов рассчитывали влажность почвы в процентах от её сухой массы. В начале высушили грунт и песок на плите, измерили их массы и начали проводить первые опыты при нулевой влажности. После нескольких замеров добавили по 5 % воды от сухой массы измеряемых почв в их емкости и также провели несколько замеров. Затем снова добавили воду и так далее. При проведении опытов с песком остановились на 30 % влажности по массе. Песок дальше не впитывал воды. При работе с грунтом измерения проводились при 100 % доле воды относительно сухой массы почвы.

Наиболее интересные для использования и последующего анализа результаты получаются при исследовании начальной фазы нарастания мощности звуковых волн при прохождении через исследуемую среду. Ниже, приложены графики, где по оси X – номер измерения, Y – частота подаваемого сигнала и Z – зафиксированная амплитуда. Не смотря на различную скорость нарастания амплитуды – тем не менее для песка и грунта на 20-ом измерении кривая зависимости амплитуды от частоты подаваемого сигнала была схожей.

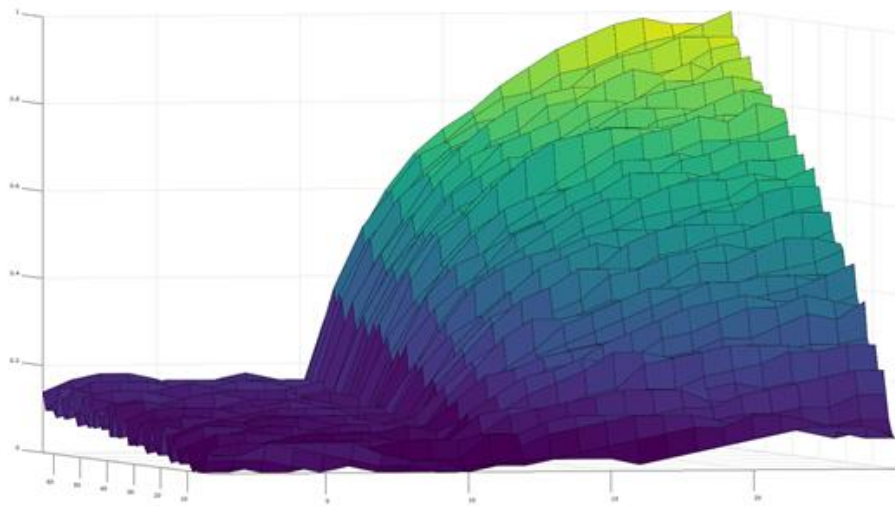


Рисунок 3 - Измерения при влажности почвы 0 %

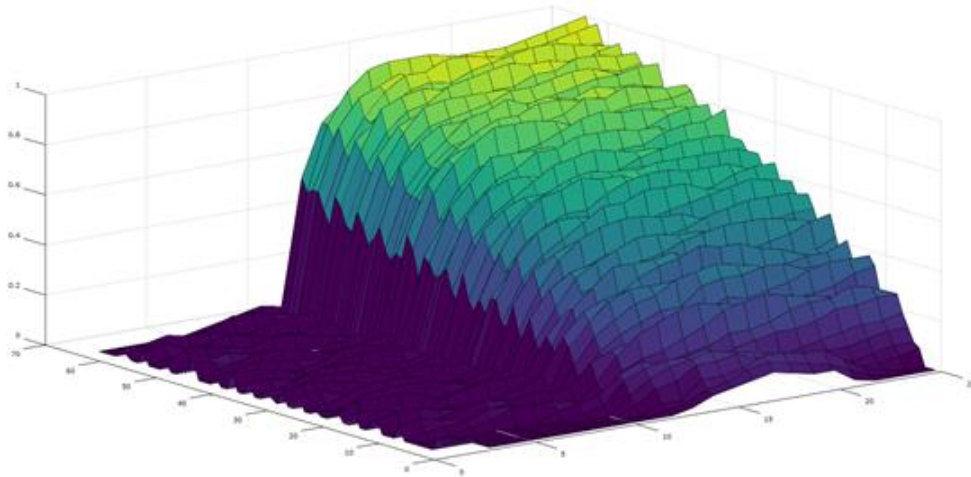


Рисунок 4 - Измерения при влажности песка 0 %

Измерения, проведенные при влажности 100% показывают иную картину.

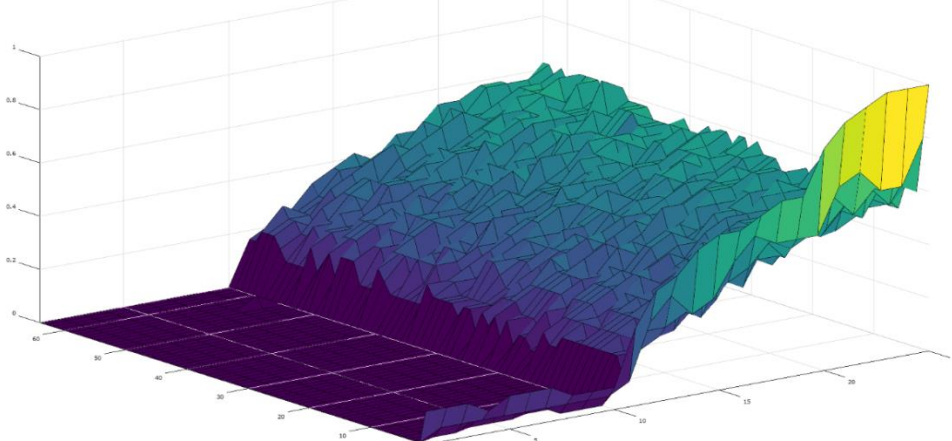


Рисунок 5 - Измерения при влажности грунта 100 %

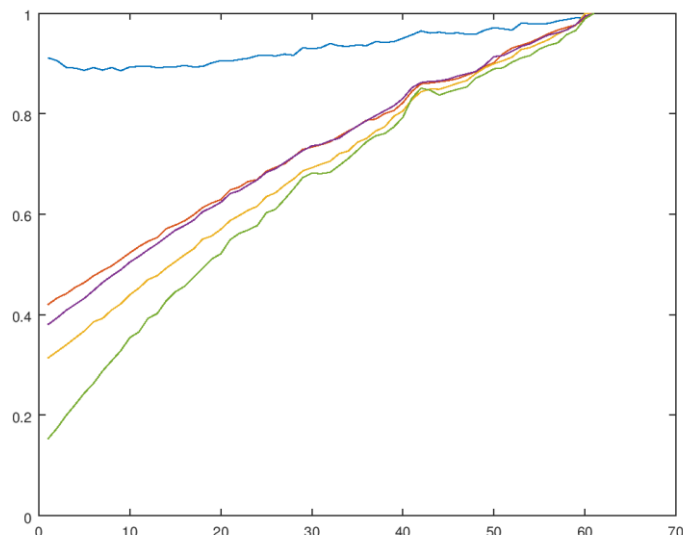


Рисунок 6 - Относительная амплитуда входного сигнала в зависимости от частоты на 20 измерениях (около 50 мс. от старта входного сигнала).

Также, показательным является график зависимости относительной амплитуды сигнала на входе прибора через 50 мс. после старта звуковой волны (ось Y) для различных частот подаваемого сигнала (ось X). Самая нижняя линия – показывает поведение сигнала при прохождении через почву с влажностью 0 %. Самый верхний – при прохождении через почву с влажностью 100 %. В промежутке – кривые с влажностями 20, 30, 40 %.

Проведенные эксперименты позволили сделать вывод о различном характере распространения звуковых волн через грунт с различной влажностью. При первичном анализе результатов измерений были обнаружены закономерности скорости нарастания амплитуды входного сигнала в зависимости от частоты подаваемого сигнала, которые могут в дальнейшем использоваться для последующего анализа и выработки критериев определения влажности на основе проведенного анализа.

При этом, обнаружена схожесть характеристик и поведения кривой скорости нарастания амплитуды входного сигнала в зависимости от частоты подаваемого сигнала для песка, почвы из двух источников, что позволяет предположить зависимость данной характеристики (скорости нарастания амплитуды) только от соотношения влаги и воздуха в порах среды.

Библиографический список

1. Влажность почвы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agro-archive.ru/pochvovedenie/2004-vlazhnost-pochvy-i-ee-znachenie-v-zhizni-kulturnyh-rasteniy.html>
2. Контроллеры Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>.
3. Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М. Практикум по земледелию/Учебник для вузов//2-е изд. перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1987. - С.57-58.
4. Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова. Введение в Octave для инженеров и математиков. - М.: ALT Linux, 2012. - 368 с.

АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ ДАННЫХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ УРОВЕНЬ ДЕТСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Киселева Т.В., Климентьева Е.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

В докладе приведены результаты анализа реализаций, характеризующих уровень наиболее распространенных заболеваний детей в возрасте от 6 до 17 лет.

Анализ необходим для выявления влияния на уровень заболеваемости таких факторов, как возраст детей, их половые признаки, сезонность и т.д.

Аналізу подвергались реализации, характеризующие различные болезни: инфекционные и паразитарные заболевания; новообразования; болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм; болезни эндокринной системы; психические расстройства и расстройства поведения; болезни нервной системы, органов дыхания, органов пищеварения, мочеполовой системы и т.д. За исследуемый период взяты годы с 2009 по 2014 [1].

Предварительный анализ проводился в несколько этапов [2].

На первом этапе были проанализированы данные о заболеваемости по годам. Анализ позволил выделить отдельные годы, когда уровень заболеваемости повышался, и участки, на которых видно снижение количества заболеваний. Приведем графики некоторых болезней.

На рисунке 1 изображен график изменения количества заболеваний крови и кроветворных органов по годам. Анализ показал, что при общем снижении количества заболеваний за анализируемый период (2009 – 2014 годы), их уровень в разные периоды то повышался, то снижался. Так за 2009 - 2010 годы наблюдается существенное снижение со 160 до 110 случаев, а в 2011 году уровень возрос до 140 случаев. После 2011 года видно устойчивое снижение до 90 случаев в 2014 году.

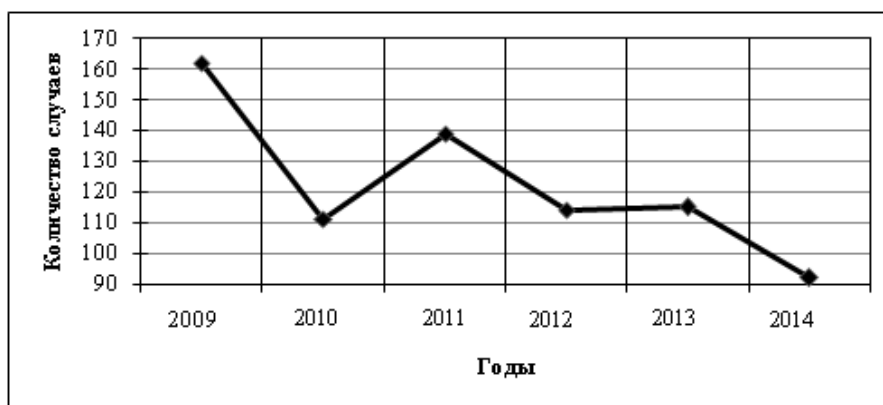


Рисунок 1 – Количество заболеваний крови и кроветворных органов по годам

На рисунке 2 показан график изменения числа заболеваний психическими расстройствами. На графике наблюдается устойчивое снижение количества заболеваний при общем высоком уровне. За 2009 – 2014 годы уровень снизился с 4080 до 2900 случаев. Проанализированы и другие уровни заболеваний по годам.

Таким образом, анализ графиков, характеризующих различные болезни по годам, позволяет выявить отдельные годы, в течение которых наблюдается повышение количества заболеваний, снижение их уровня или те участки, на которых нет существенных изменений уровня заболеваний. Наибольший интерес представляют годы, когда уровень заболеваний существенно возрастает. Для таких случаев необходимо иметь дополнительную информацию, чтобы выявить общие причины роста заболеваний и найти пути борьбы с подобной тенденцией.



Рисунок 2 – Количество заболеваний психическими расстройствами по годам

На втором этапе исследований сделана попытка углубить анализ путем рассмотрения заболеваний разными по месяцам. Рассмотрим некоторые из них. На рисунке 3 приведена реализация, характеризующая уровень заболевания органов дыхания.

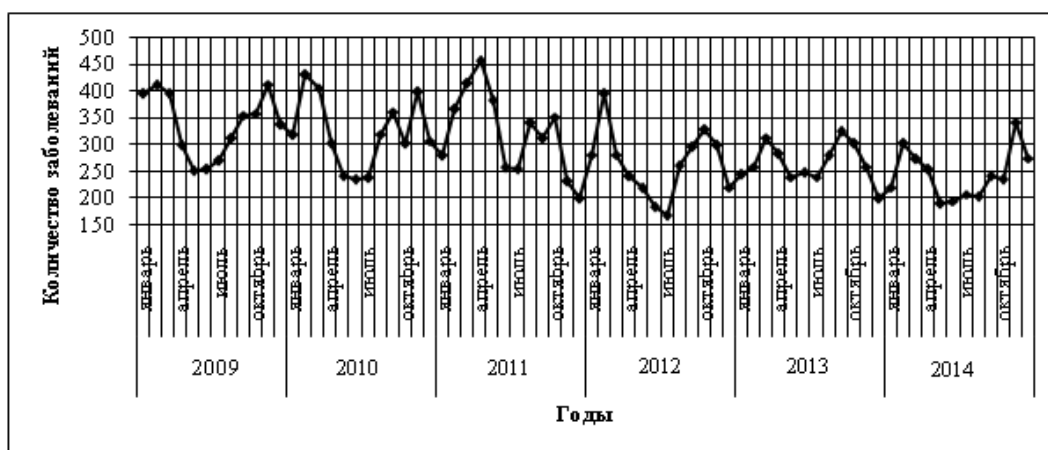


Рисунок 3 – Количество заболеваний органов дыхания по месяцам

Анализ графика показал, что ряд сильно колеблется в интервале от 170 до 450 и более случаев. В период с апреля по июль наблюдается устойчивый спад уровня в среднем на 50 и более случаев. Со середины 2012 года ряд стабилизируется и колеблется в интервале 200 - 330 случаев. На рисунке 4 показана реализация числа заболеваний психическими расстройствами, колебания значений которой лежат в пределах 65 – 190 и более случаев. Кроме того, следует отметить, что в январе – марте или феврале – марте каждого анализируемого года наблюдается резкое и устойчивое возрастание числа заболеваний, их уровень в эти месяцы достигает 170 – 190 и более случаев. Как можно объяснить такое повышение уровня заболеваний в данные периоды? Возможно, в январе – марте организм ослаблен зимним периодом (авитаминоз), а также влиянием нагрузки в школе.

Безусловно, более точные выводы могут быть сделаны специалистами при наличии подробной информации о причинах, которые имели место в этот период. Аналогичный анализ был проведен на реализациях других заболеваний.

Таким образом, анализируя данные о заболеваниях по месяцам, выявлено, что по отдельным заболеваниям наблюдаются существенные возрастания числа случаев в отдельные месяцы, а также явно видна сезонность. Возможно, что выявление и устранение причин позволит получить в эти месяцы более благоприятную картину по числу заболеваний. Кроме того, выявленную сезонность на реализациях отдельных заболеваний необходимо учитывать при прогнозировании дальнейшего развития этих болезней.

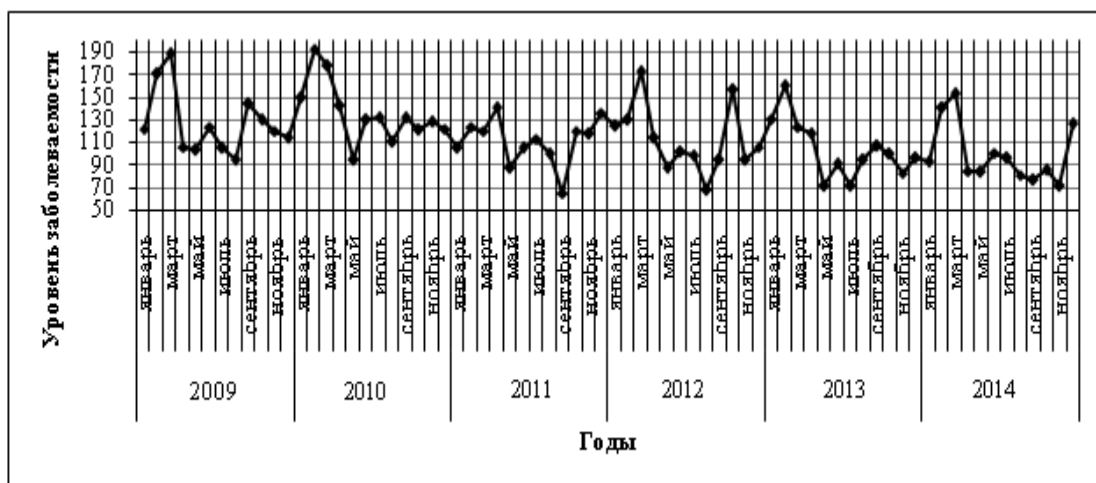


Рисунок 4 – Количество заболеваний психическими расстройствами по месяцам

Третий этап отличается от второго тем, что приведенные выше и другие реализации различных болезней были разделены по возрасту школьников на три возрастные группы: первая включает школьников от 6 до 9 лет, вторая группа - от 10 до 13 лет, а третья – от 14 до 17 лет. Данные проанализированы отдельно по каждой возрастной группе. Приведем результаты анализа для некоторых из рассмотренных заболеваний. На рисунке 5 приведены реализации уровня заболеваний эндокринной системы для каждой возрастной группы.

Следует отметить, что для первой и второй возрастных групп характер этого заболевания приблизительно одинаков. В третьей возрастной группе наблюдаются существенно выраженные сезонные колебания уровня этой болезни. Количество случаев в осенне-зимний или зимний периоды достигает 15 – 50 и выше, в то время, как в другие периоды уровень во всех трех возрастных случаях колеблется в интервале 12 – 35 случаев. Интересная картина наблюдается на реализациях болезни нервной системы, показанных на рисунке 6. Здесь видно, что самый низкий уровень заболеваемости у первой возрастной группы, немного выше лежит кривая, характеризующая вторую группу, а у третьей возрастной группы кривая заболеваемости резко уходит вверх в январе – марте каждого года, т.е. снова наблюдается ярко выраженная сезонность.

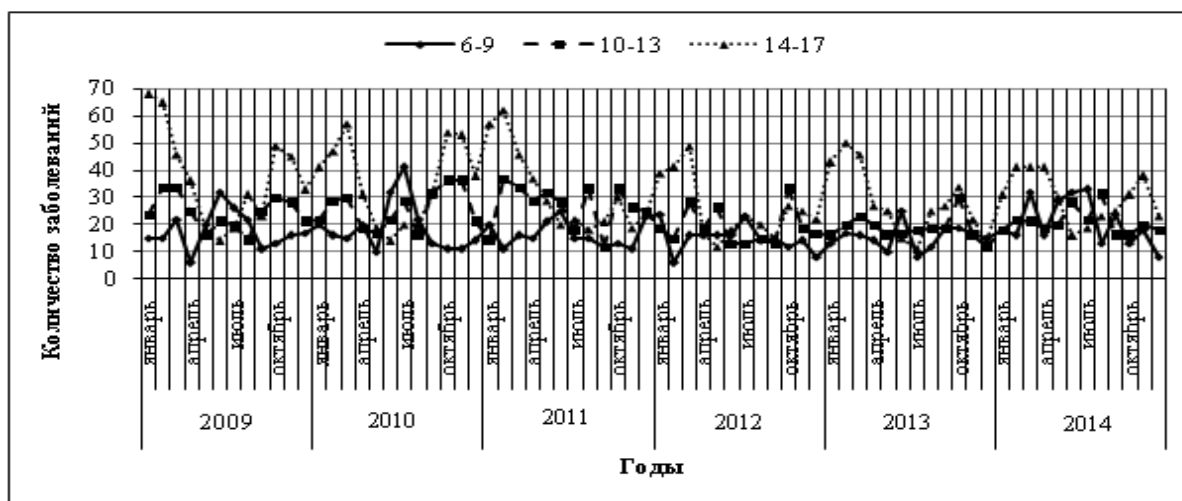


Рисунок 5 – Реализации уровня заболеваний эндокринной системы, разделенных по возрастным группам

То же самое можно отметить и на реализации психических расстройств третьей возрастной группы.

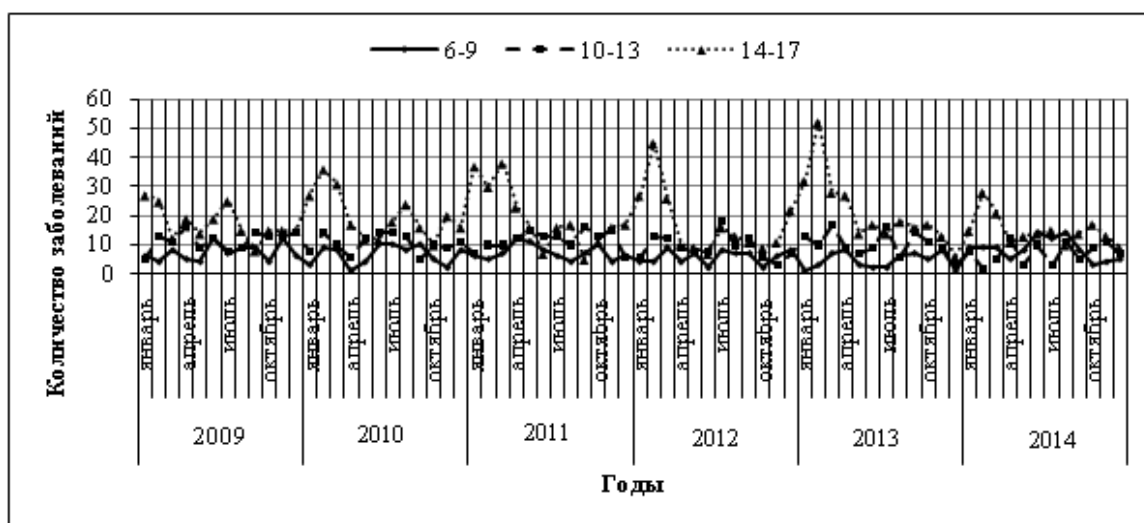


Рисунок 6 – Реализации уровня заболеваний нервной системы с разделением на возрастные группы

Таким образом, при исследовании заболеваемости с разделением по возрастным группам было выявлено, что болезнями психическими расстройствами, эндокринной, нервной и других систем чаще подвержены школьники 14 – 17 лет. А также на указанных реализациях выявлены сезонности, которые характеризуются резким увеличением числа заболеваний школьников в осенне-зимний или зимний периоды.

На четвертом этапе был проведен анализ характера заболеваемости с разделением детей внутри каждой возрастной группы по половому признаку. Такой анализ позволяет выявить различия в развитии заболеваний у мальчиков и девочек, чтобы иметь более полную и детальную информацию врачам и соответствующим органам здравоохранения, а значит более правильно подобрать тип и структуру прогнозатора для оценки характера заболеваний в будущие периоды.

Для большинства рассматриваемых заболеваний у первой и второй возрастных групп характер заболеваемости мальчиков и девочек мало различается. Для примера приведем реализации уровня заболеваемости мочеполовой системы детей первой (рисунок 7) и второй (рисунок 8) возрастных групп.

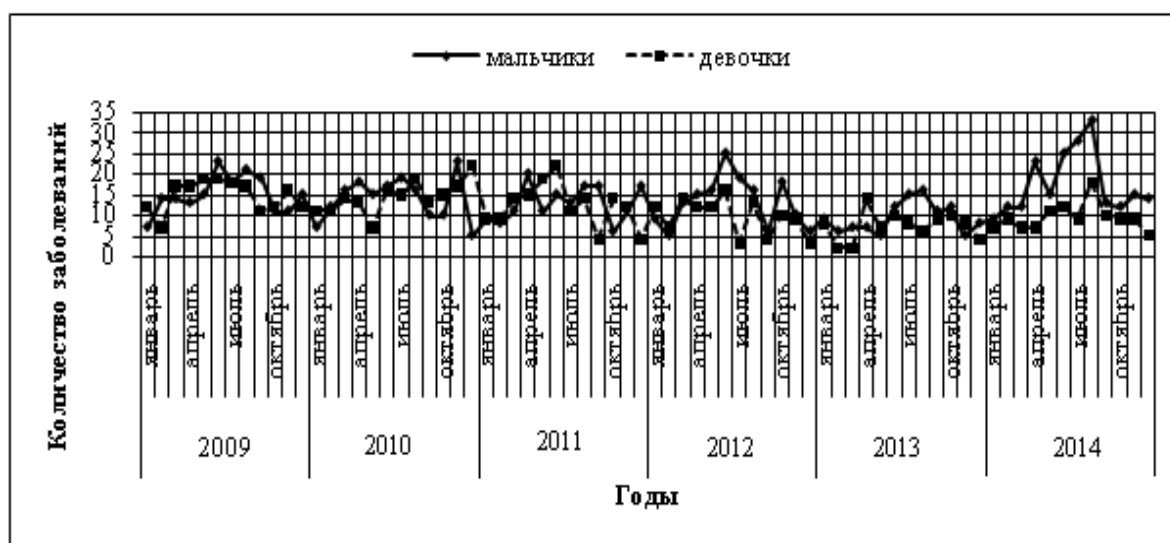


Рисунок 7 – Изменения числа заболеваний мочеполовой системы у детей первой возрастной группы, разделенных по половому признаку

Наиболее интересными являются кривые, характеризующие уровень заболеваемости детей третьей возрастной группы.

Приведем анализ некоторых заболеваний, характерных только для мальчиков или только для девочек старшей возрастной группы. На рисунке 9 приведены кривые уровня заболевания эндокринной системы мальчиков и девочек третьей возрастной группы. Из анализа кривых можно констатировать, что в среднем количество заболеваний у девочек колеблется в интервале 3 – 13 случаев, а начиная с 2011 года этот интервал еще более сужается. У мальчиков характер заболевания совершенно иной.

На кривой заболеваемости мальчиков четко видна сезонность заболевания, которая характеризуется резким увеличением числа случаев в январе – марте каждого года.

Похожая картина наблюдается и на кривых, характеризующих нервные расстройства и психические заболевания у мальчиков третьей возрастной группы, а также заболевания мочеполовой системы.

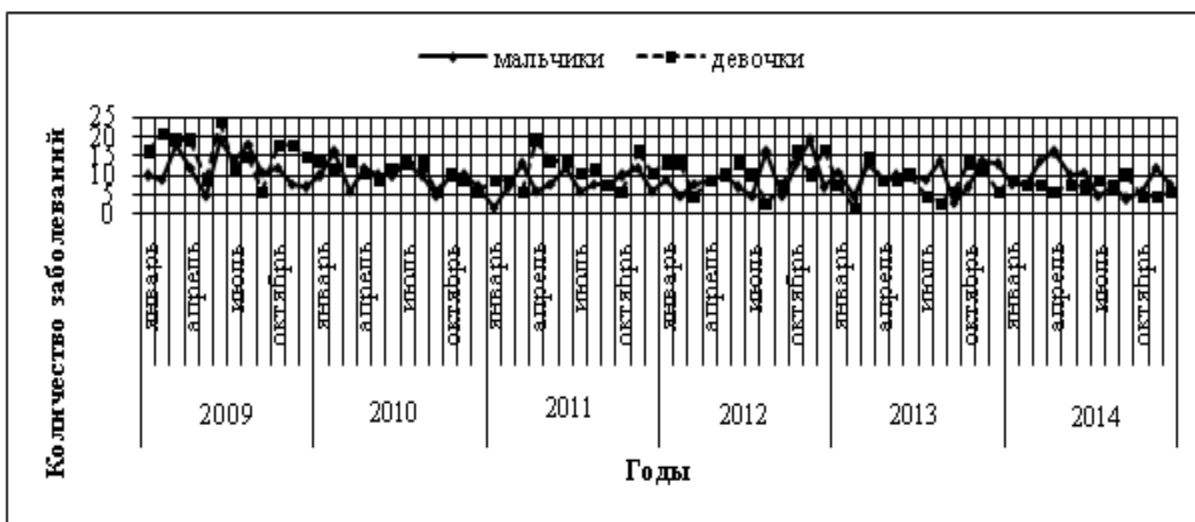


Рисунок 8 – Изменения числа заболеваний мочеполовой системы у детей второй возрастной группы, разделенных по половому признаку

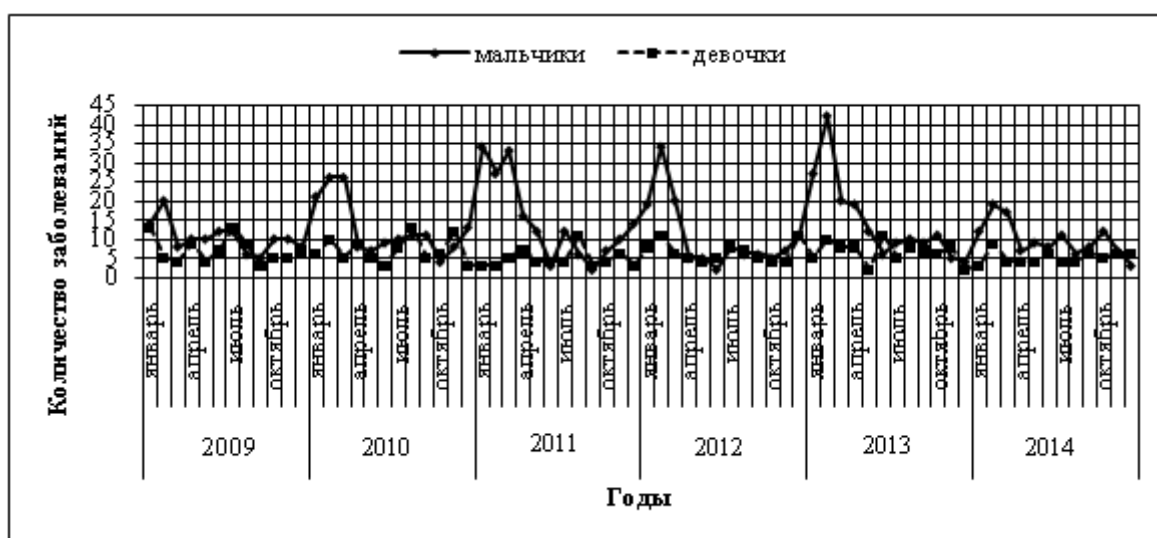


Рисунок 9 – Кривые изменения числа заболеваний эндокринной системы детей третьей возрастной группы, разделенных по половому признаку

Таким образом, проведенный анализ реализаций заболеваемости детей школьного возраста позволил выделить различия в характере заболеваний у детей разных возрастных групп, разного пола и по различным заболеваниям.

Библиографический список

1. Киселева, Т.В. Анализ реализаций данных, характеризующих уровень детских заболеваний / Т.В. Киселева // Сб. материалов Межрегион. конф. «Состояние здоровья населения, проблемы и перспективы». – Новокузнецк, 2016. – С.188 – 196.
2. Тьюки, Дж. Анализ результатов наблюдений / Дж. Тьюки. – М.: Мир, 1981. – 693 с.

АУТСОРСИНГ И СТРАХОВАНИЕ КАК ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ОТ РИСКОВ ИТ-СЕРВИСОВ

Киселева Т.В., Маслова Е.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

В докладе приведено обоснование того, что для малых организаций выгодно передавать риски, связанные с ИТ-сервисами, на аутсорсинг. А также дана постановка задачи разработки системы страхования от рисков [1, 2].

Анализ эксплуатации ИТ-сервиса предприятия показал, что риски, возникающие часто и требующие больших временных и денежных затрат для их устранения, целесообразно передать на аутсорсинг компании, специализирующейся на этом. Аутсорсинг предполагает вмешательство третьих лиц в работу организации. При этом организация имеет возможность сконцентрироваться на своей основной деятельности и не отвлекаться на выполнение тех задач, которые не являются для нее профильными. Помимо этого, аутсорсинг обладает следующими преимуществами:

1. Организация получает услугу высокого качества за короткое время, так как аутсорсер имеет большой опыт работы в определенной сфере деятельности и современные технические и программные средства;
2. Организация получает возможность сократить штат сотрудников, тем самым сократить затраты на оплату труда и рабочие места;
3. Применение аутсорсинга обеспечивает гибкость в случае изменений на рынке услуг, предприятию проще найти нового поставщика, чем изменять свою внутреннюю структуру;
4. Аутсорсинг обеспечивает постоянную безотказную работу из-за отсутствия субъективных причин приостановки процессов;
5. Использование чужого опыта решения проблем.

Конечно, при внедрении аутсорсинга предприятие может столкнуться с некоторыми проблемами, среди которых можно выделить следующие:

1. Организация может потерять некоторые ресурсы за счет вывода части операций за пределы своей деятельности;
2. Передача некоторых функций может привести к потере конфиденциальности или к снижению оперативности получения тех сведений, которые необходимы для управления;
3. В России аутсорсинг – понятие относительно новое, законодательная база проработана недостаточно полно, существует риск получения услуги низкого качества;
4. В том случае, если организация передает слишком много операций на аутсорсинг, затраты могут быть очень высоки;
5. Зачастую организация не может контролировать деятельность компании-аутсорсера, что может привести к различным проблемам и лишним затратам;
6. Аутсорсер может не выполнить свои обязательства в силу изменившихся внешних условий;
7. Организация становится зависимой от аутсорсера.

Прежде, чем передать на аутсорсинг часть услуг, крайне важно адекватно оценить свои ресурсы и возможности. Перед лицом, принимающим решения (ЛПР) стоит вопрос,

насколько выгоден аутсорсинг в каждом конкретном случае. Сначала следует сформулировать проблему и желаемый результат. После четкой формулировки и документальной фиксации проблемы следует этап анализа готовности заказчика к сотрудничеству с предприятием-аутсорсером.

При работе с ИТ-сервисами целесообразно риски, возникающие довольно часто и требующие больших временных и денежных затрат на устранение их последствий, передавать на аутсорсинг организации, имеющей не только достаточный опыт в этом виде деятельности, но и ресурсы для скорейшего решения проблемы. Рассчитаем экономическую эффективность от передачи информационных рисков на аутсорсинг, тем самым обосновывая использование этого вида услуг.

Например, компания «Синерго Софт Системс», расположенная в Новокузнецке, специализируется на оказании услуг в сфере информационных технологий, то есть выступает в качестве ИТ-провайдера для других организаций. В частности, компания «Синерго Софт Системс» занимается предоставлением услуг ИТ-аутсорсинга. Рассмотрим применение этой услуги на примере организации, количество сотрудников которой не превышает 50 человек.

В штате организации числится 50 сотрудников, каждый обеспечен компьютером, требующим сопровождение системным администратором. Для этого руководству компании можно нанять такого сотрудника, а можно передать эти функции на аутсорсинг. Рассмотрим оба варианта и рассчитаем экономический эффект от использования ИТ-аутсорсинга.

Функции системного администрирования должны выполнять два человека на случай отпуска или больничного одного из них. Системный администратор выполняет следующие виды работ: установка и настройка компьютеров, оргтехники, программного обеспечения, монтаж оборудования, обеспечение непрерывной работы сетевого оборудования, восстановление работоспособности локальной сети и компьютеров при сбое и/или выходе из строя того или иного оборудования, а также обучение пользователей работе в локальной сети организации и составление инструкций по работе с программным обеспечением.

Кроме заработной платы системным администраторам и отчислений на страховые взносы на предприятии также высоки затраты на оплату телефонных переговоров, Интернет, закупки оргтехники, сетевого оборудования и др.

Были рассчитаны максимально точно затраты для организации работы системного администратора, которые перечислены ниже:

1. Заработная плата системным администраторам (в штате организации два системных администратора) в среднем составляет 20 тысяч рублей;
2. Страховые взносы составляют 30 % от заработной платы;
3. Компьютеры. Каждый системный администратор обеспечен компьютером, стоимость одного компьютера составляет приблизительно 25 тысяч рублей;
4. Программное обеспечение. Стоимость комплекта программного обеспечения для системного администратора на один компьютер составляет примерно 22,5 тысячи рублей;
5. На телефонные переговоры в среднем расходуется 20 тысяч рублей в год;
6. Расходы на канцелярские товары составляют 16 тысяч рублей в год;
7. Амортизационные отчисления на основные средства, используемые сотрудниками (мебель, бумага и т.д.) составляет 12 тысяч рублей в год на человека;
8. Стоимость комплектующих для ремонта и замены сетевого оборудования, а также стоимость заправки и восстановления картриджей составляет 110 тысяч рублей.

Общая сумма годовых затрат на организацию работы системного администратора представлена в таблице 1. Также в качестве косвенного был выделен такой вид потерь, как недополученная прибыль по причине невыполнения плана работы из-за простоя оборудования. Ежегодно эти потери составляют 10% от прибыли, примерно 100 тысяч рублей в год. Таким образом, для расчета целесообразности внедрения ИТ-аутсорсинга на предприятии были приняты расходы на организацию работы системных администраторов в сумме 977 тысяч рублей в год с учетом недополученной прибыли в 100 тыс. рублей.

Таблица 1 – Годовые затраты на обеспечение работы системных администраторов

Затраты по видам	Сумма, тыс. руб. в год
Заработная плата	480
Страховые взносы	144
Компьютеры	50
Программное обеспечение	45
Телефонные переговоры	20
Канцелярские товары	16
Амортизационные отчисления	12
Комплекующие, заправка и восстановление картриджей	110
Итого:	877

Далее следует определение стоимости услуг аутсорсера на рынке.

Проведенный анализ позволил выявить предварительную стоимость услуг компаний, занимающихся ИТ-аутсорсингом. Их услуги зависят, в первую очередь, от количества компьютеров, нуждающихся в постоянном обслуживании. Также учитывается количество серверов в организации-заказчике и количество используемой оргтехники. В стоимость, кроме того, входит экстренная компьютерная помощь, профилактические работы (ограниченное количество выездов) и телефонная поддержка пользователей. Проведенный анализ стоимости услуг компаний-аутсорсеров, представленных в г. Новокузнецке, показал, что ежемесячное обслуживание компьютеров для предприятия, оборудованного 50 рабочими местами, колеблется в пределах от 20 тысяч рублей до 45 тысяч рублей. То есть годовые услуги аутсорсера могут составлять от 240 тысяч рублей до 540 тысяч рублей. Проведем предварительный расчет экономического эффекта при максимальной стоимости услуг, то есть в 540 рублей в год. При данных условиях экономический эффект составит 437 тысяч рублей в год (977 тыс. руб. – 540 тыс. руб.); при этом руководству организации не требуется нанимать дополнительных сотрудников и оборудовать им рабочие места. Экономическая эффективность примерно равна 44 %.

Таким образом, можно говорить о целесообразности внедрения ИТ-аутсорсинга в организациях, нуждающихся в обслуживании компьютеров, это экономически выгодно не только для компании, принимающей на себя новые обязательства, но и для предприятия, передающего часть выполняемых операций.

Одним из распространенных способов защиты от некоторых видов рисков, и одновременно одним из самых дорогостоящих является страхование. В силу этого обстоятельства целесообразно такую меру использовать, в первую очередь, при рисках, связанных с форс-мажорными обстоятельствами, что позволит снизить причиненный ущерб и компенсировать затраты на восстановление работоспособности ИТ-сервиса.

Рассмотрим модель взаимодействия страховщика с одним страхователем (в этой роли выступает ИТ-провайдер, а модель представлена в виде ограничений 1-3 в постановке задачи). Учитывая интересы страхователя и страховщика, имеем две целевые функции. Поскольку в данной задаче целевая функция страхователя играет более важную роль, целевую функцию страховщика представим в виде ограничения 3, а функцию страхователя будем максимизировать.

Дадим постановку задачи разработки механизма страхования от рисков.

Дано:

1. Основные аспекты законодательства по страхованию;
2. Стоимость активов страхователя, D ;
3. Сумма расходов, запланированная страхователем для предупредительных мер, v ;
4. Вероятность наступления страхового случая, p ;
5. Доход страхователя, $H(D)$;
6. Ограничения:
 - 1) 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;

2) нетто-ставка должна быть не меньше вероятности наступления страхового случая: $\delta_0 \geq p$;

3) $EW - V(v, D) \geq 0$, где EW – текущая сумма выплат, $V(v, D)$ – страховое возмещение.

7. Критерий: целевая функция страхователя

$$Ef(v, D) = H(D) - Z(D) - v - k(v, D) + p(v, D)[(1 + \varepsilon)V(v, D) - \Delta W], \quad (1)$$

где D – действие страхователя, например, объем производимой продукции,

v – сумма, затрачиваемая на предупредительные меры,

$H(D)$ – доход страхователя,

$p(v, D)$ – вероятность наступления страхового случая,

$Z(D)$ – затраты страхователя,

ε – параметр, отражающий степень несклонности страхователя к риску ИТ-сервиса (оценивается экспертом),

$k(v, D)$ – страховой взнос,

$V(v, D)$ – страховое возмещение,

ΔW – размер ущерба страхователя от реализации риска.

Требуется: разработать систему страхования рисков при выполнении ограничений и максимизации целевой функции страхователя.

Самым большим недостатком такого способа защиты от рисков, как страхование, является его дороговизна. Поэтому прежде, чем применять его на практике, нужно провести тщательный анализ и оценку возможных рисков и убедиться в том, что применение этого способа целесообразно.

Решение этой задачи позволило выявить условия, при выполнении которых выгодно принимать защиту от рисков путем страхования.

Простейшие зависимости затрат и дохода от действий страхователя:

$$H(D) = C \cdot D; Z(D) = Z_0 + \alpha_0 D, \quad (2)$$

где C – цена реализации продукции/услуги,

Z_0 – постоянные издержки,

α_0 – удельные переменные издержки. Из условия $H(D) - Z(D) - v \geq 0$ можно определить точку безубыточности, то есть тот минимальный объем производства $D_0(v)$, при котором деятельность страхователя еще выгодна:

$$D_0(v) = (Z_0 + v)/(C - \alpha_0).$$

При отсутствии системы страхования целевая функция страхователя имеет вид:

$$Ef(v, D) = H(D) - Z(D) - v - p(v, D)\Delta W. \quad (3)$$

Оптимальной стратегией страхователя будет выбор (v^*, D^*) таких, что

$$\begin{cases} \frac{\partial p(v^*, D^*)}{\partial D} = \frac{\beta_0}{\Delta W}, \\ \frac{\partial p(v^*, D^*)}{\partial v} = -\frac{1}{\Delta W}, \end{cases} \quad (4)$$

где $\beta_0 = C - \alpha_0$.

Рассмотрим пример, который демонстрирует вышеописанные зависимости.

Пусть $p(v, D) = e^{-k_v v} (1 - e^{-k_D D})$,

где k_v и k_D – положительные константы. Решая уравнения (4), получаем:

$$\begin{aligned} v^* &= \frac{1}{k_v} \ln\left(\frac{\Delta W k_u k_D}{k_u + \beta_0 k_D}\right), \\ D^* &= \frac{1}{k_D} \ln\left(1 + \frac{k_D}{\beta_0 k_v}\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Ожидаемые потери при этом равны: $1/k_v$.

В случае страхования, при котором ущерб компенсируется полностью, то есть $V = \frac{\Delta W}{1 + \varepsilon}$, оптимальной стратегией страхователя без учета ограничения безубыточности будет выбор таких (v^*, D^*) , что:

$$\begin{aligned} \frac{\partial k(v^*, D^*)}{\partial D} &= \beta_0, \\ \frac{\partial k(v^*, D^*)}{\partial v} &= -1. \end{aligned} \quad (6)$$

Если $\varepsilon_0(v, D)$ – нагрузка к нетто-ставке страхования, а также имеет место следующее соотношение:

$$k(v, D) = \frac{\varepsilon_0(v, D) + p(v, D)}{1 + \varepsilon} \Delta W, \quad (7)$$

тогда (6) примет вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{0D}(v^*, D^*) + p'_D(v^*, D^*) &= \frac{\beta_0(1 + \varepsilon)}{\Delta W}, \\ \varepsilon'_{0v}(v^*, D^*) + p'_v(v^*, D^*) &= \frac{1 + \varepsilon}{\Delta W}. \end{aligned} \quad (8)$$

В рамках рассматриваемой модели стратегией страховщика является выбор зависимости $\varepsilon_0(\cdot)$ нагрузки к нетто-ставке от затрат на предупредительные мероприятия и действий страхователя.

Таким образом, в докладе были рассмотрены такие способы защиты от реализации рисков ИТ-сервиса, как передача их на аутсорсинг, и страхование от возникновения тех или иных рисков. Была рассчитана экономическая эффективность от внедрения аутсорсинга на малом предприятии. Приведена постановка задачи разработки системы страхования от рисков, где модель взаимодействия страхователя и страховщика была задана в виде ограничений, а в качестве критерия была выбрана целевая функция страхователя.

Библиографический список

1. Киселева Т.В. Риски ИТ-сервиса и страхование как способ их устранения/ Т.В. Киселева, Е.В. Маслова// Перспективы развития науки и образования: сборник трудов Международной научно-практической конференции. Ч. 3.– М.: ООО «АР-консалт». – 2014.– С.55 - 57.
2. Киселева Т.В. О способах оценки и управления информационными рисками / Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: материалы X Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2015. – С.179 - 184.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Свитова А.М.

*Институт автоматизации и электротехники СО РАН, г. Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

Динамические системы, такие как автономные подвижные объекты – автотранспортные средства, подводные и летательные аппараты – широко используются как в военной, так и в гражданской области. При разработке систем управления данными объектами, в особенности летательными аппаратами, требуется высокая точность траекторного управления. Оценить устойчивость и управляемость аппарата в различных режимах, а также разработать алгоритм автоматизированного управления возможно с помощью компьютерной симуляции поведения объекта с использованием соответствующей математической модели.

Определение структуры и параметров модели динамического объекта является одним из главных этапов проектирования управляющей системы. Однако в большинстве нелинейных динамических систем присутствует неопределенность, которая связана с неполнотой знаний об аналитической модели объекта управления или с непредсказуемостью изменения параметров его уравнений. В связи с этим возникает проблема идентификации систем с неизвестными параметрами. Данная задача может быть решена с помощью рекуррентных нейронных сетей, которые способны аппроксимировать произвольную динамическую систему, в том числе и нелинейную [1].

В представленной работе в качестве динамических объектов будут рассмотрены подвижные объекты, такие как летательные аппараты (квадрокоптеры). Сложность построения точной модели летательных аппаратов заключается в необходимости учета влияния аэродинамических сил, которые действуют на любое движущееся тело, находящееся в воздушной среде. Аэродинамические коэффициенты конкретного объекта сложным образом зависят от конфигурации летательного аппарата, от параметров, определяющих режимы полета и многих других характеристик.

В статьях D. T. Pham, X. Liu [2] и A. Wysocki, M. Lawrynczuk [3] представлена структура нейронной сети Элмана и различные алгоритмы её обучения. Целью данной работы является разработка рекуррентной нейронной сети Элмана, аппроксимирующей уравнения динамики движения квадрокоптера.

Процесс идентификации модели динамики был разделен на следующие этапы:

1. Формирование обучающей выборки.
2. Выбор метрики качества.
3. Разработка архитектуры нейронной сети.
4. Оценка качества работы нейронной сети.

Обучающая выборка была сгенерирована с помощью уравнений динамики движения квадрокоптера [4]:

$$\begin{cases} I_{xx} \cdot \dot{v} = u_1 - (I_{zz} - I_{yy}) \cdot \omega \cdot \dot{\psi} \\ I_{yy} \cdot \dot{\omega} = u_2 - (I_{xx} - I_{zz}) \cdot v \cdot \dot{\psi} \\ I_{zz} \cdot \dot{\psi} = u_3 \end{cases} \quad (1)$$

где v , ω – линейная и угловая скорость движения соответственно,
 ψ – курсовой угол,

I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} – моменты инерции относительно соответствующих осей квадрокоптера,

u_1, u_2, u_3 – управляющие воздействия. Точкой над переменными обозначаются производные величин по времени.

Из дискретного представления уравнений можно выразить зависимость линейной и угловой скоростей, изменения курсового угла от управляющих воздействий. Шаг дискретизации $dt = 0.01c$:

$$\begin{cases} v_k = (u_1 - (I_{zz} - I_{yy}) \cdot \omega \cdot \dot{\psi}) \cdot \frac{dt}{I_{xx}} + v_{k-1} \\ \omega_k = (u_2 - (I_{xx} - I_{zz}) \cdot v \cdot \dot{\psi}) \cdot \frac{dt}{I_{yy}} + \omega_{k-1} \\ \dot{\psi}_k = u_3 \cdot \frac{dt}{I_{zz}} + \dot{\psi}_{k-1} \end{cases} \quad (2)$$

На вход сети подаются значения управляющих воздействий $U(k) = (u_1, u_2, u_3)$, на выход – $Y(k) = (v, \omega, \dot{\psi})$. Параметр k является номером итерации в каждой эпохе. В качестве метрики качества была взята средняя квадратичная ошибка (MSE, mean squared error):

$$error = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i_net}), \quad (3)$$

где n – количество элементов обучающей выборки,

y_i – элемент $Y(k)$,

y_{i_net} – отклик сети на i -ый элемент обучающей выборки. Обучение нейронной сети происходит при помощи минимизации данной ошибки.

В данной задаче количество слоев в сети и нейронов в каждом слое зависит от модели, которую необходимо идентифицировать. Разработанная нейронная сеть состоит из 3 слоев, в каждом из которых по 3 нейрона. Первый и последний слои предназначены для входов и выходов сети, а оставшийся является скрытым слоем. Так как данная сеть является рекуррентной, то в ней содержится дополнительный слой контекстных нейронов, в котором хранится значение скрытого слоя на предыдущем шаге. Структура нейронной сети Элмана изображена на рисунке 1.

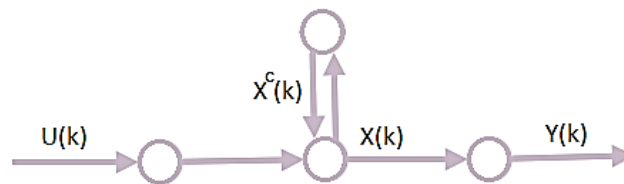


Рисунок 1 - Общий вид нейронной сети Элмана

Уравнения, которые описывают данную сеть:

$$\begin{cases} Y(k) = W_{xy} \cdot X(k) \\ X(k) = F(W_{xc} \cdot X^c(k-1) + W_{ux} \cdot U(k)), \\ X^c(k) = X(k-1) \end{cases} \quad (4)$$

где W_{xy} - вес связи между выходным и скрытым слоем;

W_{xc} - вес связи между скрытым и контекстным слоем;

W_{ux} - вес связи между скрытым и входным слоем;

F - функция активации, которая в данной сети является сигмоидой;

$X(k)$ и $X^c(k)$ - отклики нейронов скрытого и контекстного слоя соответственно.

Для обучения нейронной сети используется алгоритм обратного распространения ошибки. Изменения весов каждой связи представлены с помощью уравнений:

$$\begin{cases} \delta = y - y_{net} \\ \Delta W_{xy} = \eta \cdot \delta \cdot X^T(k) \\ \Delta W_{ux} = \eta \cdot \delta \cdot W_{xy}^T \cdot U(k) \\ \Delta W_{xc} = \eta \cdot \delta \cdot W_{xy} \cdot X^T(k-1) \end{cases}, \quad (5)$$

где η — коэффициент, влияющий на скорость обучения сети.

Пример из тестовой выборки изображен на рисунках 2-5. Управляющие воздействия показаны на рисунке 2, а результаты работы сети и модели изображены на рисунках 3-5.

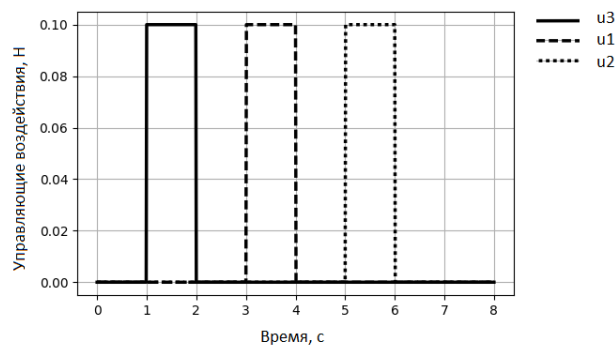


Рисунок 2 - График управляющих воздействий в зависимости от времени

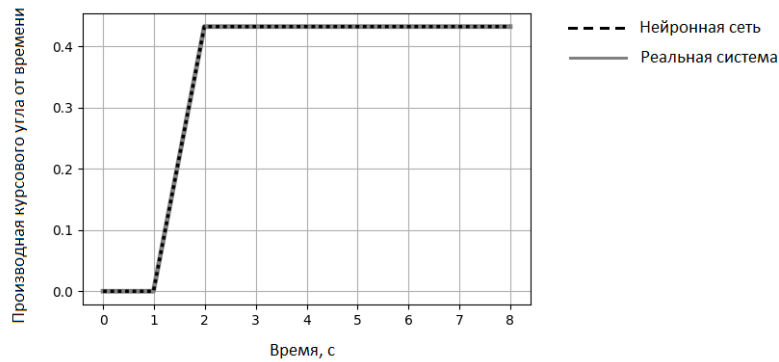


Рисунок 3 - График зависимости производной курсового угла от времени

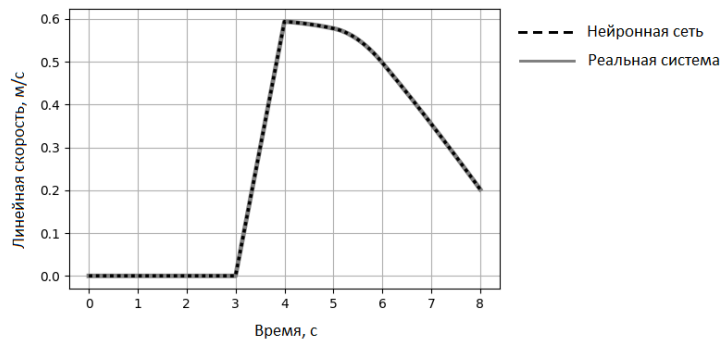


Рисунок 4 - График зависимости линейной скорости от времени

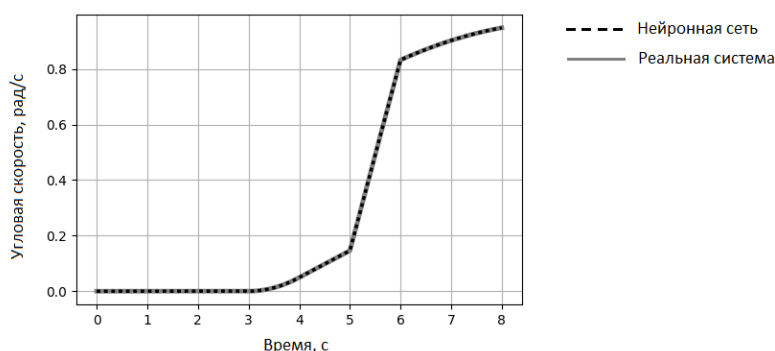


Рисунок 5 - График зависимости угловой скорости от времени

В ходе работы была разработана рекуррентная нейронная сеть Элмана, способная аппроксимировать динамику систем, поведение которых схоже с моделью движения квадрокоптера. В дальнейшей работе обучение сети будет происходить не на математических моделях, а на данных, полученных с разных реальных объектов, с использованием фильтра Калмана.

В перспективе планируется создать алгоритм управления траекторным движением объекта с адаптивной моделью на основе разработанной нейронной сети. Предполагается, что данный алгоритм будет являться универсальным и может быть применен для траекторного управления подвижными объектами [5], которые используются в различных сферах деятельности.

Библиографический список

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – Издательский дом Вильямс, 2008.
2. Pham D. T., Liu X. Neural Networks for Identification, Prediction, and Control. – 1995.
3. Wysocki A., Lawrynczuk M. Predictive Control of a Multivariable Neutralisation Process Using Elman Neural Networks //Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques. – Springer, Cham, 2015. – С. 335-344.
4. Белоконь С. А., Золотухин Ю. Н., Котов К. Ю., Мальцев А. С., Нестеров А. А., Филиппов М. Н., Ян А. П. Управление квадрокоптером AR. DRONE при движении по заданной траектории //Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV международной конференции. – 2013. – С. 25-28.
5. Котов К. Ю., Милованова А. М., Семенюк Е. Д., Соболев М. А. Автоматизированная система управления полетом параплана //Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – 2016. – С. 410-414.

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ В КОНКУРСНЫЙ МЕХАНИЗМ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДА СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ

Стрекалов С.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Реализация процесса выбора поставщика материальных ресурсов осуществляется при помощи конкурсных механизмов. Внимание в данной статье будет уделено механизму окончательного выбора поставщика, когда все предварительные этапы закупочных процедур, такие как предварительная квалификация и отбор участников, запрос технико-коммерческих предложений уже проведены и осуществляется принятие решения.

Конкурсные механизмы, использование которых возможно в сфере закупок, обладают следующими характеристиками:

- существует некоторое количество агентов (поставщиков), предоставляющих свои

предложения о поставках;

- решение о принятии предложения принимается в определенном центре (закупочной комиссии);

- предприятие, интересы которого представляет закупочная комиссия, обладает ограниченным бюджетом на закупку материальных ресурсов;

- существует определенный набор критериев, по которым определяется предпочтительность того или иного предложения поставщиков;

- текущая ситуация складывается таким образом, что принятие решения осуществляется по критерию минимальной цены поставки.

Введем следующие обозначения:

- i – количество агентов;

- S_i – заявка на ресурс i -го агента;

- X_i – оценка ожидаемой эффективности использования ресурса i -ым агентом;

- E_i – ожидаемый эффект деятельности i -го агента.

Обратимся к конкурсным механизмам [1]: «Предположим, что агенты сообщают центру две величины: заявку на ресурс S_i и оценку X_i ожидаемой эффективности его использования. Ожидаемый эффект для организационной системы в целом от деятельности i -го агента в этом случае равен: $E_i = S_i \times X_i$. Упорядочим агентов в порядке убывания эффективностей: $E_1 > E_2 > \dots > E_n$ ». Интерпретируем данный механизм, предложенный Д.А. Новиковым, для ситуации с приобретением материального ресурса. Предприятие по-прежнему будет интересоваться количеством поставляемого материального ресурса (R). Необходимо определиться с тем, что может использоваться в качестве оценки эффективности. В условиях ориентации на цену (p) в качестве «эффективности» и используется критерий цены – чем она меньше, тем эффективнее считается приобретение материального ресурса у какого-либо участника конкурса. Соответственно, и «упорядочивание агентов» осуществляется по критерию минимальной цены. Тогда ожидаемый эффект для центра будет представлять собой необходимое количество ресурса по минимальной цене. Можно сформулировать по-другому: центр распределяя финансирование (осуществляя закупку у поставщика) рассчитывает на как можно большую эффективность использования ресурса, а именно, получить требуемый объем поставки на ограниченный объем денежных средств (S).

Разумеется, участник конкурса (агент) будет предлагать ту цену и объем поставки, которые он сможет позволить себе с учетом собственных затрат и прочих факторов (географическая отдаленность, развитие сбытовой сети). Тем не менее, участник конкурса опирается на два основных ограничения: затраты на производство и заложенная в предлагаемой цене величина прибыли. В реальной ситуации, по результатам конкурсных процедур выбирается один победитель конкурса, заказ на весь объем поставки совершается у него.

Одной из важных черт любого конкурсного механизма является искажение предоставляемой информации агентами. Какое искажение информации может быть заложено агентами в условиях конкурса на поставку материального ресурса? Зная, что центр, принимающий решения, ориентируется прежде всего на минимальную цену, поставщики могут предложить формально соответствующий требованиям поставщика ресурс, но на практике данный ресурс может серьезно уступать в своих эксплуатационных характеристиках предложениям других поставщиков. Следовательно, такой ресурс может стоить дешевле, чем у других поставщиков на рынке, поэтому он становится предпочтительным для центра, принимающего решения. Можно сказать, что агент обнаруживает и эксплуатирует уязвимость в существующих конкурсных механизмах: ориентацию на минимальную цену поставки. Таким образом, возможность манипуляций вследствие ориентации на минимальную цену влечет за собой следующие риски:

- добросовестные поставщики с предложениями качественных, но более дорогих ресурсов, отсеиваются в результате реализации конкурсного механизма. В случае регулярного использования таких механизмов добросовестные поставщики будут получать все меньшее количество заказов, что приведет к сокращению количества таких поставщиков, и, соответ-

ственно, предложений;

- выбор поставщиков, которые эксплуатируют уязвимость в конкурсном механизме, в конечном итоге может привести только к росту затрат предприятия. Поставщик, предлагая низкокачественный ресурс, но по минимальной цене, производит перемещение издержек с собственной системы производства на систему производства предприятия. Низкокачественный ресурс может требовать больших затрат в обслуживании, иметь меньшие сроки эксплуатации.

Следовательно, можно сформулировать следующие предложения по усовершенствованию существующих конкурсных механизмов:

- внедрение критерия отбора поставщиков (агентов), снижающего возможность манипулирования информацией;

- использование для всех поставщиков такого подхода, который бы позволял полноценно оценивать их предложения.

Обратимся к опыту описания и усовершенствования различных механизмов выбора поставщика. Например, в [2] описывается алгоритм выбора партнеров по аутсорсингу. Представляется алгоритм выбора, состоящий из следующих шагов: определение возможностей сотрудничества, предварительная оценка поставщиков, проведение самого тендера (конкурса). Обратим внимание на следующее: «в большинстве случаев ведущим критерием выступает стоимость, но она не должна быть единственным параметром в оценке предложений, так как для заказчика часто необходимы прежде всего высокое качество или короткие сроки выполнения работ».

В работе [3] автор отмечает, что «Основной критерий выбора поставщиков это качество продукции. Качество относится к способности поставщика обеспечить товары и услуги в соответствии со спецификациями».

Авторы работ [4-6] считают, что основным критерием выбора поставщика является качество его предлагаемого им ресурса.

Автор [4] отмечает, что «при реализации проекта ... крайне важно получить требуемые высококачественные ресурсы в установленные сроки реализации проекта и по оптимальной цене».

В работе [5] внимание концентрируется также на качестве: «оценку качества имеющихся поставщиков для целей ранжирования можно проводить на основе измерения показателей качества продукции и услуг, поставляемых ими».

А в публикации [6] отмечено, что «как показал обзор научных исследований, посвященных оценке поставщиков, наиболее важными критериями оценки работы поставщиков являются: качество продукции, доставка (время выполнения заказа, доставка в срок), стоимость (цена)».

Несмотря на то, что все авторы используют критерий «качество», можно отметить, что они его интерпретируют по-разному. Оценка критерия «качество» при осуществлении выбора поставщика весьма затруднительна. Оценить качество можно лишь по общим отзывам рынка о продукции, репутации поставщика. Тем не менее, полноценная информация о качестве ресурса появляется лишь после его эксплуатации, что трудно оценить в ситуации осуществлении закупки. Поэтому критерий «качество», массово используемый в рекомендациях авторов, необходимо конкретизировать или заменить на другой, более формализуемый критерий.

Для удовлетворения данных требований при реализации конкурсной процедуры можно использовать подход совокупной стоимости владения. Суть этого подхода кратко можно описать так: он позволяет оценить материальный ресурс не только по цене его поставки, но и по оценке последующих затрат. Например, оценить влияние увеличенного срока службы более дорогостоящего ресурса по сравнению с меньшим сроком службы дешевого ресурса на затраты. Более подробно данный подход описан в публикациях автора [7].

В настоящее время становится преобладающим мнение, что цена закупаемого ресурса автоматически определяет и величину текущих затрат предприятия. Например, возьмем стандартную группировку затрат по элементам, которая осуществляется по их экономической однородности независимо от места возникновения и целевого назначения. Затраты, образующие себестоимость, есть сумма материальных затрат, затрат на оплату труда, отчислений на социальные нужды, амортизации основных фондов и прочих затрат. В рамках данно-

го примера при ориентации на минимальную цену закупки очевидным будет отнести затраты на приобретение материально-технического ресурса на материальные затраты. Поэтому экономия от снижения цены рассматривается только в рамках материальных затрат: Экономия в цене будет означать наименьшее увеличение материальных затрат.

Предположим, что в процессе выбора поставщика центр обращает свое внимание на минимизацию своих затрат, представленных элементом «Материальные затраты». Однако подход совокупной стоимости владения предлагает иной взгляд на влияние закупки материальных ресурсов на себестоимость производства продукции предприятия. Допустим, что приобретенный ресурс требует определенных затрат на установку/замену, которые, в первую очередь, выражаются в затратах труда, снижении количества простоев оборудования при замене ресурса. Кроме этого, нужно добавить затраты на работу подсистемы снабжения предприятия, которая будет обрабатывать меньшие или большие объемы закупок в зависимости от срока службы ресурса. Безусловно, данные расчеты демонстрируют лишь малую часть совокупной стоимости владения, но принятие решение на их основе будет более проработанным.

Следовательно, использование конкретного материального ресурса приводит к изменению не только материальных затрат, но и как минимум, затрат на оплату труда. Учет затрат в рамках одного элемента приводит к потере возможности оценивать совокупную стоимость владения (рисунки 1,2).

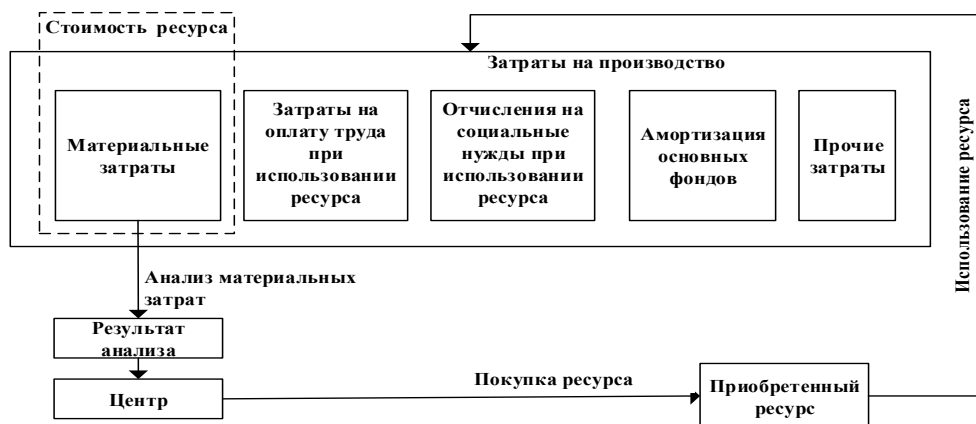


Рисунок 1 – Оценка материального ресурса без применения совокупной стоимости владения

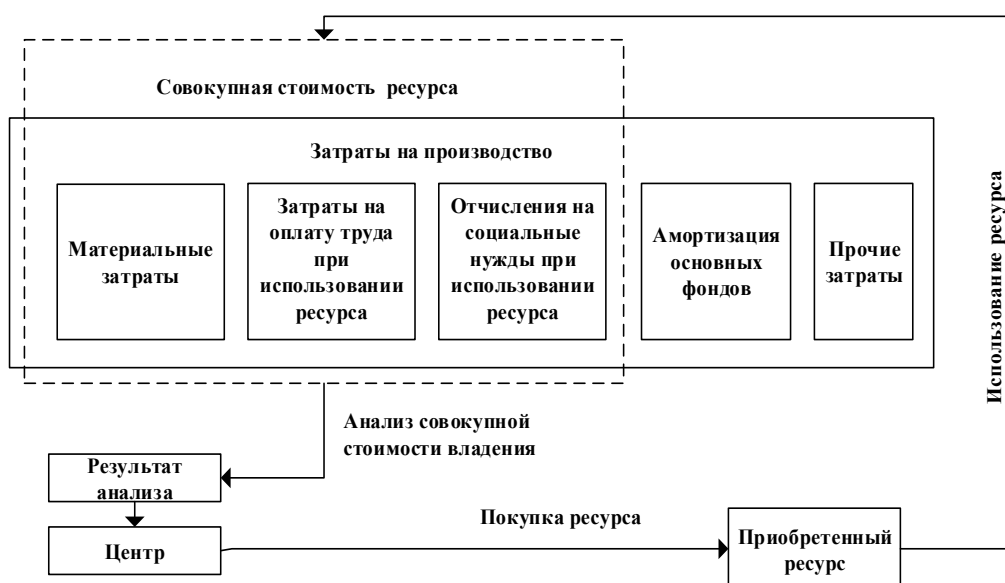


Рисунок 2 – Оценка материального ресурса с применением совокупной стоимости владения

Обратимся к примеру, описанному в [8] и посвященному оценке эффективности эксплуатации крупногабаритных шин на угольных разрезах. Авторы отмечают, что при добыче каменного угля открытым способом доля затрат на приобретение крупногабаритных шин для карьерного транспорта значительна и достигает 20...25 % в себестоимости перевозок. В качестве одной из мер, направленных на увеличение ходимости шин, авторы предлагают оценивать остаточную глубину протектора: измерение остаточной глубины протектора (ОГП) проводится по двум сторонам протектора в специальных точках, отмеченных маркерами при изготовлении шины. По полученным данным можно оценить потенциал ходимости крупногабаритной шины (ожидаемый пробег шины).

Авторы исследования делают важное замечание, что анализ зависимости остаточной глубины протектора и текущей ходимости показывает преимущество конкретной модели шин, дает обоснование при планировании закупки и обсуждении цены с поставщиками.

Таким образом, оценка материально-технического ресурса включает в себя не только цену материально-технического ресурса, но и затраты на его замену при истечении срока службы. Как показывает вышеприведенный пример, оценка срока службы шины является весомым критерием в рамках закупочных процедур. Если к оценке срока службы добавить затраты на замену шин и затраты на диагностику состояния и ремонты шин, то предприятие получит полноценную информацию о совокупной стоимости владения крупногабаритной шины.

Отметим, что основной особенностью метода совокупной стоимости владения служит получение необходимой информации для расчета этой стоимости. Данную особенность в условиях дефицита информации можно отнести к недостаткам. Для сокращения негативного влияния данного недостатка обратимся к практике добросовестных поставщиков. Обратим внимание на то, что использование метода совокупной стоимости владения позволит им обосновывать цену своего ресурса и выгоды, которые он может принести предприятию. Так как большая часть поставщиков проводит оценку поставляемых ресурсов, например, по тому же сроку службы, то данные расчеты могут повысить предпочтительность их предложения.

Еще раз обратимся к вышеприведенному примеру оценки крупногабаритных шин. Поскольку в описанном случае предприятие самостоятельно проводило оценку шин, то оно получало ценную информацию лишь постфактум. Широкое распространение метода совокупной стоимости владения позволило бы получать данную информацию заранее, до совершения закупки. Поставщики могут делать предварительные оценки совокупной стоимости владения ресурсом применительно к условиям предприятия. Таким образом, повышается обоснованность цены предложения поставщика как для поставщика, так и для предприятия (центра).

Разумеется, не каждый участник конкурсных процедур заинтересован в представлении подобных расчетов. Поэтому для стимулирования агентов можно предложить повысить приоритетность заявок для отбора обоснованных поставщиком при помощи метода совокупной стоимости владения предложений перед необоснованными таким образом предложениями.

В качестве итога отметим следующее:

- ориентация в конкурсном механизме лишь на цену ресурса уже не отвечает современным требованиям, цены могут быть использованы для манипулирования, а низкая цена может способствовать лишь увеличению затрат и необходимости закупки большего объема и/или более частых закупок;

- альтернативой критерию «качество» при закупке ресурса может служить его срок службы, который позволит оценить последующие затраты на эксплуатацию ресурса;

- совместное оценивание цены и срока службы ресурса становится защитой механизма от манипулирования: минимальная цена при значительном сроке службы сравнимых ресурсов может служить признаком манипулирования. Тем не менее, такое соотношение может быть характерно и для новых более современных, экономичных ресурсов, но данная информация может быть получена на этапе предварительного отбора поставщиков, поэтому данный факт может не вызывать подозрений.

Таким образом, внедрение в конкурсный механизм элементов метода совокупной стои-

мости владения позволяет защитить механизм от манипулирования, получить дополнительную информацию, формализовать критерий «качество» и принять более обоснованное решение.

Библиографический список

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
2. Иванова М.М. Алгоритм выбора партнеров по аутсорсингу // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2010. №15. С.60-66.
3. Шульга М. В. Механизм формирования выбора поставщика // Бизнес в законе. 2012. №5. С.130-133.
4. Николаева С.А. Формирование организационного механизма проведения закупочных процедур при реализации проектов промышленного строительства (нефтепереработка) // Среднерусский вестник общественных наук. 2014. №3 (33). С.242-248.
5. Денисова Т.Н. Оценка деятельности поставщиков как фактор повышения эффективности закупочной деятельности // ЭКОНОМИНФО. 2011. №15. С.58-60.
6. Бочкарева Е.П., Волкова В. Н. Управление обеспечением предприятия машиностроения комплектующими изделиями // Статистика и экономика. 2014. №2. С.37-41.
7. Петрова Т.В., Стрекалов С.В., Новичихин А. В. Применение метода совокупной стоимости владения при решении задач управления системой закупок ресурсов горнодобывающего предприятия / Т. В. Петрова, С. В. Стрекалов, А. В. Новичихин. // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017. – 3. – С. 346-351.
8. Ефимов В.И., Кротиков О.В. Оценка эффективности эксплуатации крупногабаритных шин на угольных разрезах ОАО «ХК «СДС-Уголь» // Известия Тульского Государственного Университета. Науки о Земле. 2013. №2. С.112-117

ОБ АЛГОРИТМАХ РАСЧЕТА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА (СКВОЗНОЙ ЭМИССИИ CO₂) МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Все агрегаты в черной металлургии можно разделить на следующие классы [1 –3]:

1. Сжигающие ископаемое топливо и не образующие топливные вторичные энергетические ресурсы (ТВЭР), например, нагревательная печь на природном газе. Эмиссия диоксида углерода таких агрегатов определяется как

$$M_{G1} = 3,667 \sum_1^N C_I^P M_{FI}$$

где M_{G1} – масса образованного газа при сгорании всего топлива, т;

3,667 – коэффициент, который задает количество массы образующегося газа на единицу сгораемого углерода (при сгорании СО этот коэффициент равен 1,571);

C_I^P – массовая доля содержания (концентрация) углерода в I -ом топливе – отношение массы углерода M_{CI} к M_{FI} ;

M_{FI} – масса сгоревшего I -го топлива, т.

2. Не сжигающие ископаемые топлива, но использующие ТВЭР, например, коксовая батарея. Эмиссия CO₂ таких агрегатов учитывается в агрегатах – источниках ТВЭР. Например, эмиссия CO₂ коксовой батареи, отапливаемой доменным газом определяется при расче-

тах эмиссии CO_2 доменной печи.

3. Сжигающие ископаемое топливо и образующие ТВЭР, которые используются в других агрегатах (доменные печи и др.).

Для примера (рисунок 1), доменный газ состоит из таких углеродосодержащих газов, % об. CO 22–27, CO_2 15–22, CH_4 1–2 в зависимости от содержания кислорода в дутье [4]. Налицо существенная неопределенность. В данной работе поставлена задача сравнить эмиссии CO_2 различных агрегатов и процессов. На рисунке 1 показаны потоки газов CO_2 и CO при работе ДП, работающей на офлюсованных железорудных материалах (ЖМ) (в шихте нет известняка).

К агрегатам, потребляющим ТВЭР, относятся все агрегаты, в которых сгорают доменный или коксовый газы.

Приведенные 15–22 % CO_2 не являются исчерпывающей характеристикой доменной печи (назовем этот газ CO_2 прямым или прямой интегральной эмиссией $M_{\text{ПР}}$), так как 22–27 % CO сгорят на этом же комбинате или на другом объекте, образуя дополнительный объем CO_2 . Т. е. работа доменной печи порождает большую массу CO_2 , чем его содержится в доменном газе. Но большая часть сгорает в котлах заводских электростанций, обеспечивая до 90 % электроэнергии, потребляемой металлургическими предприятиями [73], а в простейшем случае CO сжигается в факелах или дожигается в специальных устройствах.

4 Сжигающие низкокалорийные ТВЭР и образующие высококалорийные ТВЭР (коксовая батарея). Эмиссия коксовой батареи определяется массой углерода, содержащегося в очищенном коксовом газе. Этот газ сгорает в агрегатах типа 2, но образующийся при этом диоксид углерода относится на счет коксовой батареи.

На рисунке 2 показан процесс образования косвенной эмиссии CO_2 при коксовании углей в предположении, что обратный коксовый газ не используется для нагрева коксовых батарей. Прямая эмиссия коксовых батарей при их отоплении доменным газом на рисунке показана пунктирной линией, так как эта эмиссия учтена в интегральной эмиссии доменного процесса. Для этого случая эмиссия процесса коксования $M_{\text{П}} = M_{\text{К}}$.

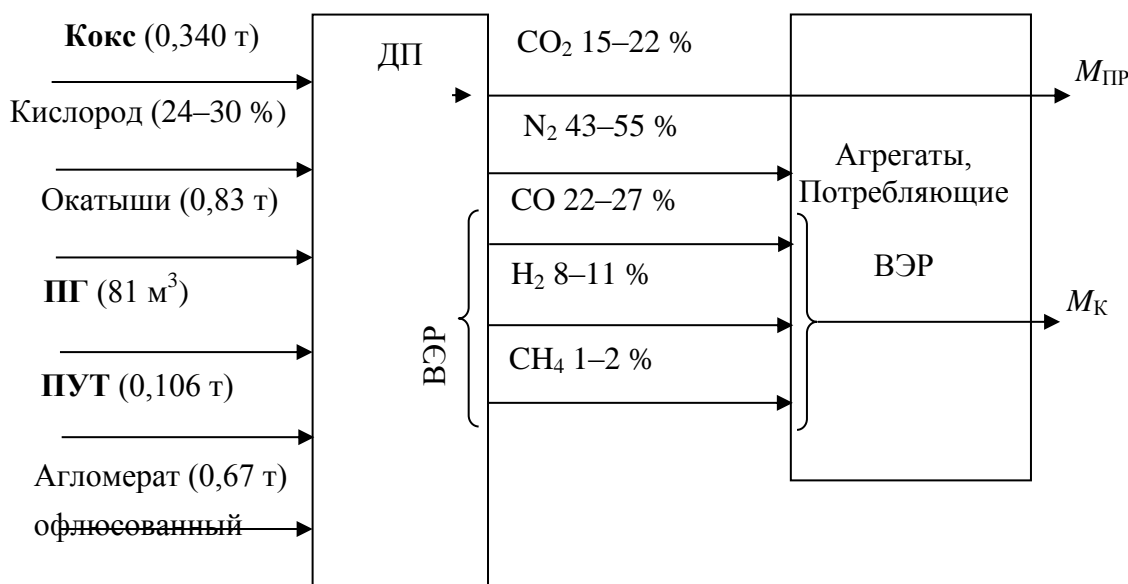


Рисунок 1 – Образование прямой и косвенной эмиссии CO_2 при работе ДП (жирным шрифтом выделены источники углерода)

5. Не использующие топлива, но образующие ТВЭР, которые не используются в других агрегатах (конверторы). Эмиссия CO_2 определяется массой выгоревшего углерода из шихты (чугуна), который догорает до диоксида углерода.

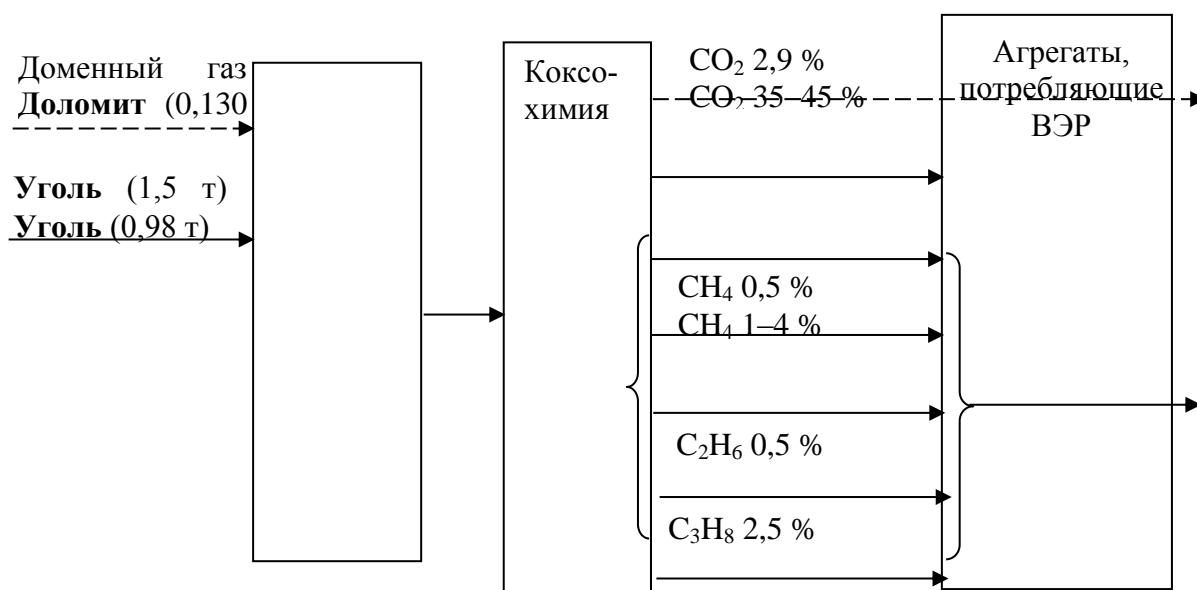


Рисунок 2 – Образование прямой и косвенной эмиссий CO₂ в процессе коксования

Эмиссию CO₂ агрегатов второго класса, в которых используются только ТВЭР, отнесем к интегральной эмиссии агрегатов второго класса. Например, эмиссия диоксида углерода коксовой батареи, отапливаемой доменным газом, относится к интегральной эмиссии доменной печи, так как доменная печь является источником и причиной образования ТВЭР для коксовой батареи.

Образующийся газ CO₂ назовем косвенным интегральным или интегральной косвенной эмиссией M_K . Сумма прямой и интегральной косвенной эмиссий образует интегральную эмиссию процесса:

$$M_{\Pi} = M_{\text{ПР}} + M_K. \quad (1)$$

Такой подход повышает точность оценки эмиссии диоксида углерода процесса, так как сводится к вычислению массы сгоревшего углерода топлива в этом процессе. Кроме того, упрощается методика сравнения различных процессов по эмиссии диоксида углерода, в том числе тех, для которых нет данных по объемам и составу углесодержащих выбросов, но есть данные по расходам топлива. В таблице 1 показаны значения интегральных эмиссий некоторых процессов черной металлургии.

Таким образом, массу CO₂, образующегося в доменном, коксохимическом, электродуговом, мартеновском процессах будем определять по суммарной массе углерода с учетом дожигания CO, содержащегося в исходных топливах. В кислородно-конвертерном процессе с дожиганием масса [4] CO₂ будет пропорциональна массе выгоревшего из шихты углерода. Эмиссия агломерационной печи определяется сгоревшим углеродом коксика шихты и природного газа, сгорающего в горне для поджигания шихты паллет.

Конвертор генерирует оксид углерода при продувке ванны расплавленного чугуна кислородом, который сгорает или в специальных устройствах в трубопроводе или при доступе кислорода в горловину. Конвертор генерирует ТВЭР, но они сгорают без пользы.

Электродуговая печь (ЭДП) образует эмиссию диоксида углерода за счет выгорания лишнего углерода из шихты, электродов и природного газа, используемого для ускорения расплава шихты.

Здесь сделано краткое обобщение понятий интегральных эмиссий диоксида углерода агрегатов сталльного производства. Широко распространенное за рубежом понятие углеродного следа в черной металлургии сведем к понятию интегральной сквозной эмиссии CO₂ M_C , которая является суммой эмиссий CO₂, последовательно возникающих во всех процессах

технологической цепи, начиная с добычи сырья и кончая тем продуктом, для которого эта эмиссия определяется. Кроме того, будем различать интегральные эмиссии процесса M_{Π} и транзитную (еще ее называют косвенной, в нашем случае – сторонней косвенной) M_T , обусловленную долей от суммарной массы эмиссии CO_2 , образованного в предыдущих процессах, которая перешла на анализируемый процесс.

Сквозная интегральная эмиссия CO_2 M_C удовлетворяет соотношению:

$$M_C = M_{\Pi} + M_T. \quad (2)$$

Таблица 1 – Значения интегральных эмиссий CO_2 различных процессов

Процесс	Эмиссия процесса
Агломерационное производство	319
Производство железорудных окатышей	56,3
Коксохимическое производство	392
Доменное производство	1551
Конверторное производство	144
Электродуговое производство	88,9
Производство электроэнергии	1,084
Corex	2669
ROMELT	1894
Midrex	634
HyL-3	655

Для определения углеродного следа продукции (интегральной сквозной эмиссии диоксида углерода) необходимо учесть эмиссии диоксида углерода, которые образуются на предыдущих процессах производства с учетом доли переноса этих эмиссий на последующие процессы – транзитные эмиссии (в ряде источников их называют косвенными, но мы косвенными эмиссиями обозначили эмиссии от сгорания ТВЭР).

Таким образом, транзитная эмиссия определяет долю от суммарной массы эмиссии диоксида углерода, образованного в предыдущих процессах.

Для вычисления значения сквозной эмиссии представим процессы и их взаимосвязи в виде ориентированного взвешенного графа с размеченными вершинами – разновидности сигнальных графов. Рассмотрим пример ориентированного графа эмиссии общего вида (рисунок 3).

Веса дуг Ψ_{ik} , идущих из вершины k в вершину i , соответствуют удельным расходам ресурсов в тоннах или кубических метрах, что зависит от того, какая размерность эмиссии в вершине, из которой исходит дуга (кг/т продукта или м³/т продукта) [4], [5]. Внутри сдвоенных вершин полного графа (рисунок 2) указаны значения транзитной эмиссии M_T и эмиссии процесса M_{Π} . Первый индекс обозначает номер передела, второй – номер процесса в переделе. Вершины, из которых стрелки только выходят, назовем источниками. Этим вершинам соответствует множество процессов (добыча, транспортировка, дробление, грохочение, обогащение и т. п.), которые выделить сложно. Значение их сквозной эмиссии обозначим G_{ik} , где первый индекс означает номер передела, второй индекс – номер источника.

Для сигнальных графов значение сигнала в вершине равно сумме сигналов, поступающих от других вершин с учетом коэффициента передачи дуг. Тогда сквозную эмиссию для вершины 51 можно найти, используя следующие выкладки:

$$M_{C51} = M_{\Pi51} + G_{43}\Psi_{13} + (M_{\Pi31} + M_{T31})\Psi_{61} + (M_{\Pi41} + M_{T41})\Psi_{71} + G_{12}\Psi_{22};$$

$$M_{C51} = M_{П51} + G_{43}\Psi_{13} + M_{П31}\Psi_{61} + M_{T31}\Psi_{61} + M_{П41}\Psi_{71} + M_{T41}\Psi_{71} + G_{12}\Psi_{22};$$

$$M_{T41} = M_{П31}\Psi_{51} + M_{T31}\Psi_{51};$$

$$M_{T31} = M_{T21}\Psi_{31} + M_{П21}\Psi_{31} + M_{T22}\Psi_{41} + M_{П22}\Psi_{41} + G_{12}\Psi_{12};$$

$$M_{T21} = G_{11}\Psi_{11};$$

$$M_{T22} = G_{11}\Psi_{12};$$

$$M_{T31} = G_{11}\Psi_{11}\Psi_{31} + M_{П21}\Psi_{31} + G_{11}\Psi_{12}\Psi_{41} + M_{П22}\Psi_{41} + G_{12}\Psi_{12};$$

$$M_{T41} = M_{П31}\Psi_{51} + (G_{11}\Psi_{11}\Psi_{31} + M_{П21}\Psi_{31} + G_{11}\Psi_{12}\Psi_{41} + M_{П22}\Psi_{41} + G_{12}\Psi_{12})\Psi_{51};$$

$$M_{C51} = M_{П51} + G_{11}\Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{61} + M_{П21}\Psi_{31}\Psi_{61} + G_{11}\Psi_{12}\Psi_{41}\Psi_{61} + M_{П22}\Psi_{41}\Psi_{61} +$$

$$G_{12}\Psi_{12}\Psi_{61} + M_{П41}\Psi_{71} + M_{П31}\Psi_{51}\Psi_{71} + G_{11}\Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71} + M_{П21}\Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71} + G_{11}\Psi_{12}\Psi_{41}\Psi_{51}\Psi_{71} +$$

$$M_{П22}\Psi_{41}\Psi_{51}\Psi_{71} + G_{12}\Psi_{12}\Psi_{51}\Psi_{71} + G_{12}\Psi_{22};$$

$$M_{C51} = M_{П51} + G_{43}\Psi_{13} + M_{П31}\Psi_{61} + G_{11}\Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{61} + G_{11}\Psi_{12}\Psi_{41}\Psi_{61} + G_{11}\Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71} +$$

$$G_{11}\Psi_{12}\Psi_{41}\Psi_{51}\Psi_{71} + M_{П21}\Psi_{31}\Psi_{61} + M_{П21}\Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71} + M_{П22}\Psi_{41}\Psi_{51}\Psi_{71} + M_{П22}\Psi_{41}\Psi_{61} + G_{12}\Psi_{12}\Psi_{61} +$$

$$G_{12}\Psi_{12}\Psi_{51}\Psi_{71} + G_{12}\Psi_{22} + M_{П41}\Psi_{71} + M_{П31}\Psi_{51}\Psi_{71};$$

$$M_{C51} = M_{П51} + G_{43}\Psi_{13} + M_{П31}\Psi_{61} + G_{11}(\Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{61} + \Psi_{12}\Psi_{41}\Psi_{61} + \Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71} + \Psi_{12}\Psi_{41}\Psi_{51}\Psi_{71}) +$$

$$M_{П21}(\Psi_{31}\Psi_{61} + \Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71}) + M_{П22}(\Psi_{41}\Psi_{51}\Psi_{71} + \Psi_{41}\Psi_{61}) + G_{12}(\Psi_{12}\Psi_{61} + \Psi_{12}\Psi_{51}\Psi_{71} + \Psi_{22}) +$$

$$M_{П41}\Psi_{71} + M_{П31}\Psi_{51}\Psi_{71}.$$

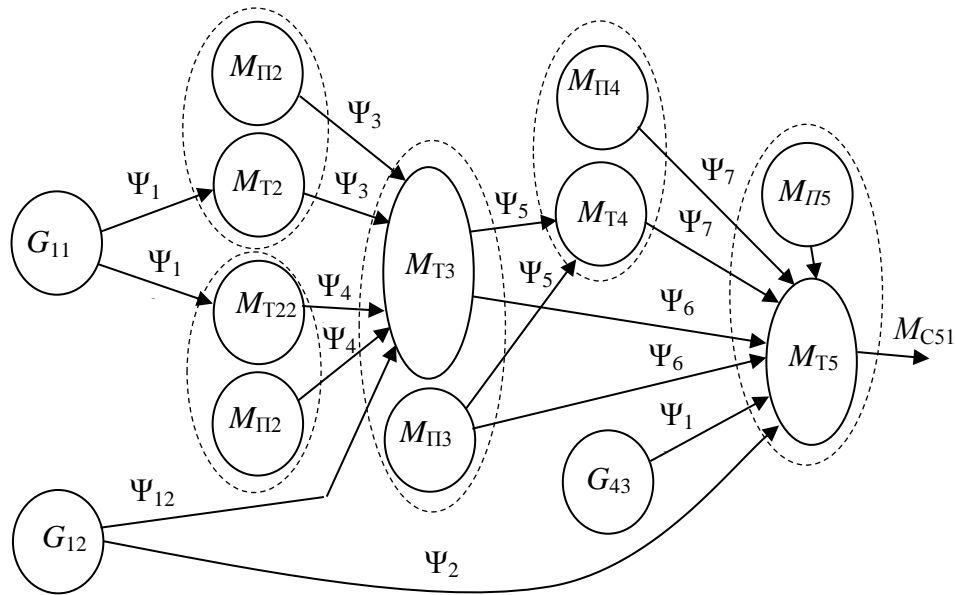


Рисунок 3 – Граф эмиссий диоксида углерода

Из этих выкладок следует формула в общем виде для вычисления сквозной эмиссии:

$$M_{Cik} = M_{Пik} + \sum_{i=1}^L \left(G_{ik} \cdot \sum_{j=1}^N P_{jk} \right) + \sum_{l=1}^M \left(M_{Пil} \cdot \sum_{j=1}^P P_{jl} \right), \quad (2)$$

где L – число источников (вершин графа, из которых дуги только выходят);

N – число путей из вершины-источника к анализируемой вершине;

P_{jk} – передачи соответствующего пути – произведения весов дуг, например, $\Psi_{11}\Psi_{31}\Psi_{51}\Psi_{71}$;

M – число вершин, соответствующих процессам, у которых эмиссия процесса не равно нулю;

P – число путей из таких вершин к анализируемой вершине. Длина путей различна.

Здесь индекс i соответствует номеру передела в технологической цепи, а индекс k означает эмиссию диоксида углерода от k -го источника в i -м переделе, l – номер вершины в i -м переделе, у которой эмиссия процесса не равна нулю.

Для вычисления значения интегральной сквозной эмиссии представим процессы и их взаимосвязи в виде ориентированного взвешенного графа с размеченными вершинами – разновидностями сигнальных графов.

Граф соответствующий получению жидкой стали в конвертере представлен на рисунке 4. Веса дуг Ψ_{ik} , идущих из вершины k в вершину i , соответствуют удельным расходам ресурсов в тоннах или кубических метрах, что зависит от того, какая размерность эмиссии в вершине, из которой исходит дуга (кг/т продукта или м³/т продукта). Внутри вершин полного графа указаны эмиссии процесса M_{Π} и через косую черту значения сквозной эмиссии M_C для этого процесса. Для сигнальных графов значение сигнала в вершине равно сумме сигналов, поступающих от других вершин с учетом коэффициента передачи дуг.

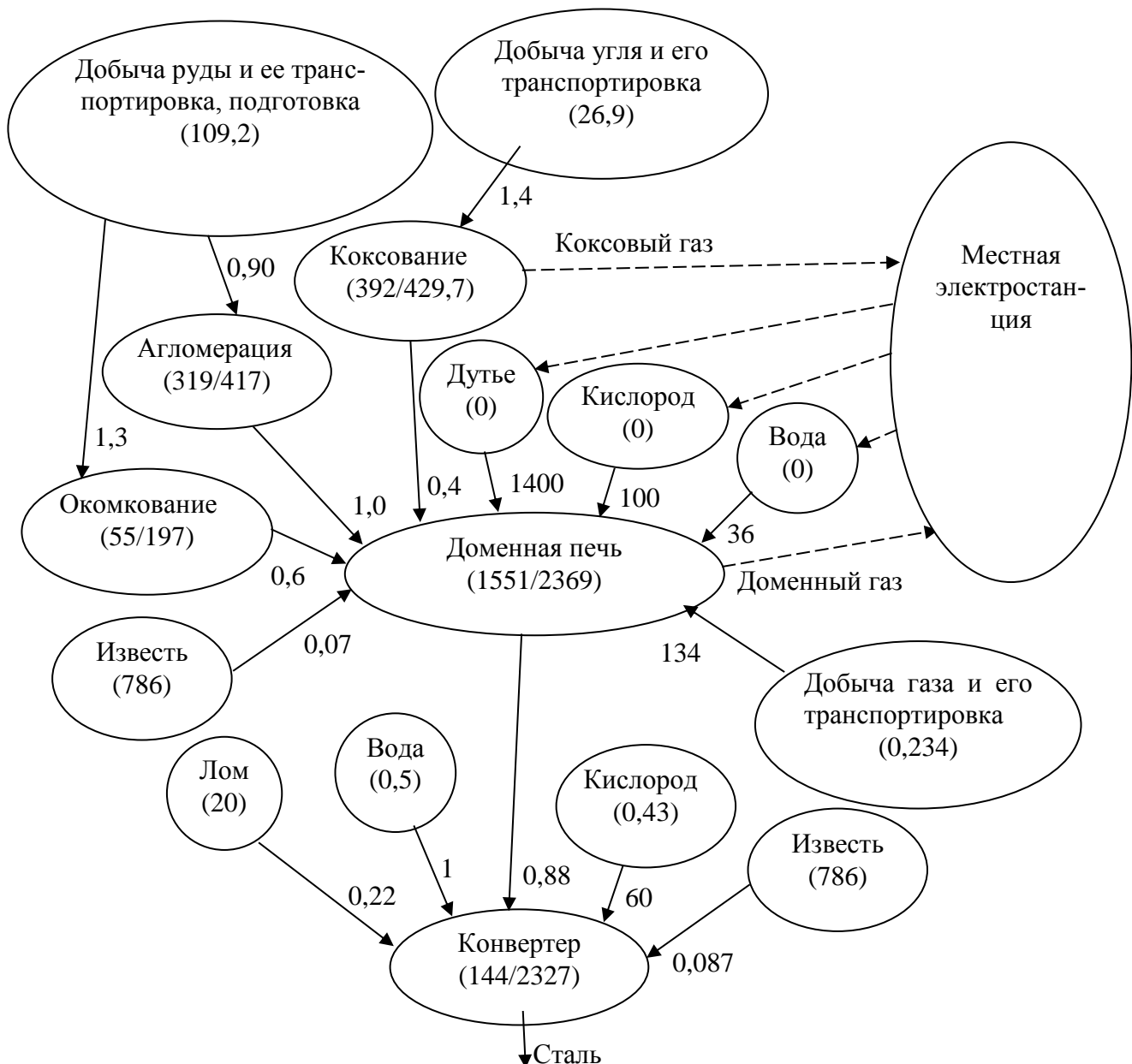


рисунок 4 – Граф эмиссий CO₂ для тандема доменная печь + кислородный конвертер Углеродный след стали, выплавленной из чугуна в конвертере равен 2327 кг / т стали.

Выводы

1. Предложена новая методика классификации эмиссии диоксида углерода для агрегатов черной металлургии.
2. Применена модель в виде сигнального графа для определения углеродного следа жидкой стали (сквозной интегральной эмиссии).

Библиографический список

1. Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева Классификация технологических процессов металлургии с точки зрения образования парникового газа CO₂. (тезисы докладов). Сборник научных трудов международной заочной конференции, посвященной 15-летию со дня создания Регионального Уральского отделения Академии Инженерных Наук им. А. М. Прохорова, 1–10 декабря 2010 г. Выпуск 1. – Екатеринбург: ИВТОБ, 2010, С. – 46–47.

2. Ю.Н. Чесноков, А.В. Лаптева Характерные типы процессов по особенностям образования парникового газа – диоксида углерода (на примере металлургии) (тезисы докладов). Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ – ПРОМ 2011» в рамках 8^{го} Международного форума «СВЯЗЬ – ПРОМЭКСПО 2011». – Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «УрФУ», 2011. С. 105–107.

3. Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева. Математические модели косвенных оценок эмиссии CO₂ в некоторых металлургических процессах (статья) // Сталь. – 2011. – №8. – С. 74–77.

4. Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева. Граф эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями (тезисы доклада) // Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции «Инженерная экология». – Москва. – 2011. – С. 40–45.

5. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями (статья) / Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева. // Металлург. – 2012. – № 12. – С. 23–26

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Н

Neogi B., 47

А

А.В. Степанов, 117
А.И. Глущенко, 171
Аверина Т.А., 135
Азарнова Т.В., 278
Аксенов В.В., 201
Аксенова Ю.С., 98
Аксёнова Ю.С., 135
Андрианов О.Н., 194, 328, 413, 417
Анпилов А.О., 165
Антипенко Л.А., 176

Б

Бабичева Н.Б., 320
Баранов Г.Л., 168
Баркалов С.А., 272, 302
Березнев П.В., 298
Бондаренко Ю.В., 298
Бондин А.Р., 120
Бондин Ю.А., 78
Борщинский М.Ю., 240
Бурнев С.Д., 157
Буслов И.А., 57
Бычков А.Г., 407

В

В.А. Петров, 171
Венгер К.Г., 7, 55, 151
Венгер М.К., 404
Веревкин В.И., 228
Веревкин С.В., 228
Власенко А.Е., 139
Воронцова А.Д., 194

Г

Герасимук А.В., 223
Гиманова И.А., 232
Глущенко А.И., 189
Голобоков М.В., 324
Грачев А.В., 114
Грачев В.В., 61, 151, 254
Грачев В.В., 34, 466
Григорова Е.Н., 336
Гудков М.Ю., 143
Гурин И.А., 51, 157, 209, 275
Гусев М.М., 315, 318

Гусев С.С., 205, 345, 428
Гутова С.Г., 377

Д

Давкаев К.С., 68
Данилевич С.Б., 324
Дворянчиков М.В., 176, 315, 318, 431
Дебенко Д.В., 78
Декун Н.И., 275
Добронец Б.С., 29
Добрынин А.С., 11, 178, 309, 413, 417
Доррер А.Г., 57
Доррер Г.А., 57
Дулесов А.С., 232

Е

Евтушенко В.Ф., 350
Еременко Ю.И., 165, 189, 369
Ермакова Л.А., 312, 315, 318

Ж

Жилина Н.М., 139

З

Зимин В.В., 103, 289
Золин И.А., 328
Золин К.А., 328

И

Иванов Д.В., 61
Иванова Е.В., 127
Ивушкин К.А., 7, 34, 350, 466
Инатович Ю.В., 120

К

Кадыков В.Н., 82
Казакевич И.А., 377
Калинина Н.Ю., 272, 302
Каширина И.Л., 278
Каюров В.А., 73
Кизилов С.А., 47, 237
Кипервассер М.В., 223
Киселев Е.В., 160
Киселева Т.В., 196, 438, 443
Кисляков И.М., 130
Климентьева Е.В., 438
Клишин В.И., 251
Кобыжакова С.В., 57

Кожевников А.А., 139
Койнов Р.С., 178, 413, 417
Корнеева А.А., 92
Коровин Д.Е., 254
Корольков М.В., 68
Кравченко А.Е., 176
Краснобаев А.В., 157
Куделин С.П., 120, 185, 187
Кузнецов И.С., 237
Кузнецова В.С., 160
Кулаков С.М., 11, 82, 108, 143, 309, 413
Кунинин П.Н., 371
Куценко А.И., 358
Кучик М. М., 384, 392

Л

Лавров В.В., 24, 51, 209, 275
Лаптева А.В., 260, 456
Леонтьев И.А., 55, 254
Лисиенко В.Г., 260, 456
Лихачева Т.Г., 98
Луговик А.И., 185
Лысенко Н.Л., 176
Лысенко О.Н., 61
Ляховец М.В., 55, 68, 151, 178, 254, 358, 431

М

Макаров В.Н., 7
Макаров Г.В., 350, 358
Малахов Ю.В., 264
Маслова Е.В., 443
Медведев А.В., 88, 130
Мелкозеров М.Ю., 151, 254
Миронова Е. В., 305
Миронова К. А., 305
Митьков В.В., 103, 289
Михайлов В.Г., 196
Михов Е.Д., 423
Мусатова А.И., 82, 108
Мухтасаров Р.Т., 73
Мышляев Л.П., 7, 34, 55, 151, 176, 350, 466

Н

Насонова Т.В., 272, 302
Некрасова Е.В., 160
Никитенко М.С., 237
Никитенко С.М., 251
Никитенко М.С., 47
Николаев П.И., 237
Новосельцева М.А., 377
Носков В.Ю., 73, 157, 434

О

Онорин О.П., 24
Орлова А.С., 354
Островляничик В. Ю., 380, 384, 392

П

Павлов А.В., 24
Павлова Л.Д., 283
Паршина А.А., 168
Пахомова Е.О., 246
Печатнова Е.В., 235
Полещенко Д.А., 369
Полинова А.А., 24
Попова О.А., 29
Поползин И. Ю., 380, 384, 392
Порядина В.Л., 98
Пристапу Ю.Д., 283
Прокофьев С.В., 61
Проценко А.П., 246
Пухов С.И., 434

Р

Радченко М.О., 187
Раецкий А.Д., 312, 315, 318
Раскин М.В., 176
Раскина А.В., 88
Решетников В.В., 68
Рыбаков А. И., 384, 392
Рыбаков А.И., 371
Рыбенко И.А., 400
Рыболовлев В.Ю., 157

С

Саламатин А.С., 55, 176
Свитова А.М., 448
Симаков В.П., 223
Симикова А.А., 19
Симикова А.А., 342
Соловьев В.И., 362
Спирин Н.А., 24, 51, 78, 209, 217, 275
Степанов Ю. А., 410
Стрекалов С.В., 451

Т

Тараборина Е.Н., 11, 309
Темкин И.О., 336
Трофимов В.Б., 11, 214
Трофимов П.Ю., 434

У

Ухин А.Л., 278

Ф

Фатхутдинов А.Р., 217
Федосенков Б.А., 19, 342
Федосенков Д.Б., 342
Федосенков Д.Б., 19
Фомин А.В., 189
Фрянов В.Н., 283

Х

Халапян С.Ю., 165
Хорошева Т.А., 377

Ц

Циряпкина А.В., 61
Цыганков Ю.А., 369

Ч

Чернова С.С., 92
Чесноков Ю.Н., 260, 456

Чеченин Г.И., 139
Чикомазов А.Н., 298
Чичерин И.В., 201

Ш

Швыдкий В.С., 217
Шестакова О.Е., 404
Шилов В.А., 120
Шипунов М.В., 151, 254
Шишкина А.В., 92
Шишкина С.В., 283
Шлянин С.А., 312, 315, 318

Э

Эйсмонт К.Ю., 160

Ю

Еременко Ю.И., 171

Я

Ярещенко Д.И., 293
Яровой С.В., 57

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	5
О РАЗВИТИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ.....	7
Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Ивушкин К.А., Макаров В.Н.	
ПРЕЦЕДЕНТНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ.....	11
Кулаков С.М., Трофимов В.Б., Добрынин А.С., Тараборина Е.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ И ВЕЙВЛЕТ-СРЕДЕ.....	19
Федосенков Д.Б., Симикова А.А., Федосенков Б.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ЭНЕРГОЕМКИМИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.....	24
Спирин Н.А., Лавров В.В., Павлов А.В., Полинов А.А., Онорин О.П.	
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАЦИИ, ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ДАННЫМ.....	29
Добронец Б.С., Попова О.А	
СИСТЕМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	34
Грачев В.В., Ивушкин К.А., Мышляев Л.П.	
СЕКЦИЯ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ	45
РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНОГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОГО ИНТЕРФЕЙСА И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	47
Кизилев С.А., Никитенко М.С., Neogi V.	
ИНФРАСТРУКТУРА WEB-ОРИЕНТИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ.....	51
Гурин И.А., Лавров В.В., Спирин Н.А.	
ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК.....	55
Мышляев Л.П., Ляховец М.В., Леонтьев И.А., Венгер К.Г., Саламатин А.С.	
FIREFIGHTER – ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ТАКТИКЕ БОРЬБЫ С ПРИРОДНЫМИ ПОЖАРАМИ.....	57
Буслов И.А., Доррер А.Г., Доррер Г.А., Кобыжакова С.В., Яровой С.В.	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ «АНТОНОВСКАЯ»	61
Грачев В.В., Прокофьев С.В., Лысенко О.Н., Циряпкина А.В., Иванов Д.В.	

ОПЫТ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	68
Решетников В.В., Давкаев К.С., Корольков М.В., Ляховец М.В.	
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	73
Носков В.Ю., Мухтасаров Р.Т., Каюров В.А.	
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В СРЕДЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ARCGIS DESKTOP.....	78
Бондин Ю.А., Спирин Н.А., Дебенко Д.В.	
О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕХАНИЗМА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ЦЕХА НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННО-НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ.....	82
Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н.	
О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ НЕУСТОЙЧИВЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ.....	88
Медведев А.В., Раскина А.В.	
О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ ВЗАИМНО НЕОДНОЗНАЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ.....	92
Корнеева А.А., Чернова С.С., Шишкина А.В.	
МЕХАНИЗМ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОБОБЩЕНИЯ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	98
Порядина В.Л., Лихачева Т.Г., Аксенова Ю.С.	
О МЕХАНИЗМЕ ПИЛОТНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ERP-СИСТЕМЫ.....	103
Митьков В.В., Зимин В.В.	
СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТОВ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО ЦЕХА.....	108
Мусатова А.И., Кулаков С.М.	
О СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРОЙ.....	114
Грачев А.В.	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА ПОЛНОГО МНОГООБРАЗИЯ ВАРИАНТОВ СОСТАВА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА НОМЕНКЛАТУРУ ЗВЕНЬЕВ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР.....	117
Степанов А.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ.....	120
Шилов В.А., Куделин С.П., Инатович Ю.В., Бондин А.Р.	
ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРОМ.....	127
Иванова Е.В.	

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ СТАВКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПЛАТЕЖА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ И АДМИНИСТРАТИВНОГО ЦЕНТРА.....	130
Медведев А.В., Кисляков И.М.	
ПРОЕКТНЫЙ ОФИС В ОРГАНИЗАЦИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И СЛОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ.....	135
Аверина Т.А., Аксёнова Ю.С.	
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА НАЛИЧИЯ ПРОБЛЕМЫ.....	139
Власенко А.Е., Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Кожевников А.А.	
МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА СЛУЖБЫ АСУ ТП, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ.....	143
Гудков М.Ю., Кулаков С.М.	
СЕКЦИЯ 2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	149
МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕООРУЖЕНИЯ.....	151
Ляховец М.В., Венгер К.Г., Мышляев Л.П., Шипунов М.В., Грачев В.В., Мелкозеров М.Ю.	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ СКЛАДОВ.....	157
Бурнев С.Д., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В., Гурин И.А., Носков В.Ю.	
РАЗРАБОТКА АСУ ТП ТЕРМООБРАБОТКИ ТРУБ В УСТРОЙСТВЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	160
Эйсмодт К.Ю., Кузнецова В.С., Киселев Е.В., Некрасова Е.В.	
ОБ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА НА ОСНОВЕ КОСВЕННОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	165
Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Анпилов А.О.	
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ.....	168
Паршина А.А., Баранов Г.Л.	
НЕЙРОСЕТЕВОЙ НАСТРОЙЩИК ДЛЯ ОТРАБОТКИ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОКАТНОЙ КЛЕТЬЮ.....	171
Петров В.А., Глущенко А.И., Еременко Ю.И.	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ MACHINE LEARNING В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	174
Григорьев С.С.	
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК.....	176
Саламатин А.С., Кравченко А.Е., Антипенко Л.А., Раскин М.В., Дворянчиков М.В., Мышляев Л.П., Лысенко Н.Л.	

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ПРОСТОЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ.....	178
Койнов Р.С., Ляховец М.В., Добрынин А.С.	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ГРАФИКА ВНУТРИЗАВОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ЛИСТОВОГО ПРОКАТА.....	185
Луговик А.И., Куделин С.П.	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПОЛНЕНИЯ СКЛАДА ЛИСТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РИТМИЧНОСТИ ОТГРУЗКИ ПРОКАТА.....	187
Радченко М.О., Куделин С.П.	
К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОГО НАСТРОЙЩИКА НА МНОГОЗОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПЕЧАХ.....	189
Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Фомин А.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ IoT-МОДУЛЕЙ И ОДНОКРИСТАЛЬНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ.....	194
Андрианов О.Н., Воронцова А.Д.	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	196
Михайлов В.Г., Киселева Т.В.	
СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОХОДОМ.....	201
Аксенов В.В., Чичерин И.В.	
РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ.....	205
Гусев С.С.	
ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СЫРЬЕВЫМИ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	209
Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В.	
О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА.....	214
Трофимов В.Б.	
О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ДЛЯ ПЕРЕПЛАВКИ МЕДНЫХ КАТОДОВ.....	217
Швыдкий В.С., Фатхутдинов А.Р., Спирин Н.А.	
СИСТЕМА ЗАЩИТЫ НАСОСА ОТ КАВИТАЦИИ НА ОСНОВЕ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА ТОКА СТАТОРА ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	223
Герасимук А.В., Кипервассер М.В., Симаков В.П.	
УПРАВЛЕНИЕ СТОЙКОСТЬЮ СВАРНОГО УЗЛА К ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ.....	228
Веровкин В.И., Веровкин С.В.	
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ТОРГОВЫХ КОМПЛЕКСАХ.....	232
Гиманова И.А., Дулесов А.С.	

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	235
Печатнова Е.В.	
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ВЫПУСКА УГЛЯ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ КАК ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМ КОМПЛЕКСОМ.....	237
Кизилов С.А., Николаев П.И., Никитенко М.С. , Кузнецов И.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФУРЬЕ КАК СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОЦЕССОВ КОЛЕБАНИЙ УПРУГИХ ВАЛОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШПУ ГЛУБОКИХ ШАХТ.....	240
Борщинский М.Ю.	
РЕЦИКЛИНГ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ.....	246
Проценко А.П., Пахомова Е.О.	
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....	251
Клишин В.И., Никитенко С.М.	
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУ ТП ОФ ООО СП «БАРЗАССКОЕ ТОВАРИЩЕСТВО»	254
Коровин Д.Е., Леонтьев И.А., Грачев В.В., Мелкозеров М.Ю., Шипунов М.В., Ляховец М.В.	
СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ НА ВЫХОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ.....	260
Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В.	
РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РОБОТИЗАЦИИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ.....	264
Малахов Ю.В.	
СЕКЦИЯ 3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	271
СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА.....	272
Баркалов С.А., Насонова Т.В., Калинина Н.Ю.	
WEB-СЕРВИС «ОТЧЕТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ»	276
Гурин И.А., Декун Н.И., Лавров В.В., Спириин Н.А.	
МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНАТОРНО-ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОДХОДА.....	279
Азарнова Т.В., Каширина И.Л., Ухин А.Л.	
МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЕРСОНАЛА ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	284
Шишкина С.В., Приступа Ю.Д., Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.	

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ОБУЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ERP-СИСТЕМЫ.....	290
Митьков В.В., Зимин В.В.	
О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТА УНИВЕРСИТЕТА.....	294
Ярещенко Д.И.	
АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОГРАММНО- ЦЕЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДДЕРЖКА ИХ РЕШЕНИЯ.....	299
Бондаренко Ю.В., Березнев П.В., Чикомазов А.Н.	
СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА.....	303
Баркалов С.А., Насонова Т.В., Калинина Н.Ю.	
МЕХАНИЗМ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ (НА ПРИМЕРЕ УЧРЕЖДЕНИЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ).....	306
Миронова Е. В., Миронова К. А.	
ОБ АЛГОРИТМЕ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСОВАННЫХ ВУЗОВСКИХ РАСПИСАНИЙ.....	310
Добрынин А.С., Кулаков С.М., Тараборина Е.Н.	
РАЗРАБОТКА ОТЧЕТА «МОНИТОРИНГ КУРСОВ» К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ MOODLE.....	313
Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А.	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ MOODLE ДЛЯ СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ФГОС ВО 3+ НА ПРИМЕРЕ СИБГИУ.....	316
Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Дворянчиков М.В., Гусев М.М., Ермакова Л.А.	
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ MOODLE.....	319
Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Дворянчиков М.В., Гусев М.М., Ермакова Л.А.	
О ПОСТРОЕНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ АБИТУРИЕНТА.....	321
Бабичева Н.Б.	
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПОВЕРКИ (КАЛИБРОВКИ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	325
Голобоков М.В., Данилевич С.Б.	
ЛАБОРАТОРНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	329
Золин И.А., Андрианов О.Н., Золин К.А.	
ПРЕОДОЛЕНИЕ ОБУЧЕННОЙ БЕСПОМОЩНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	332
Веровкин В.И., Веревкин С.В.	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДБОРА ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ.....	337
Темкин И.О., Григорова Е.Н.	

СЕКЦИЯ 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	341
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫМ АГРЕГАТОМ.....	342
Федосенков Д.Б., Симилова А.А. , Федосенков Б.А.	
АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕХОДОМ В ПРОСТРАНСТВО ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ.....	346
Гусев С.С.	
РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	351
Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Ивушкин К.А., Макаров Г.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ОБЪЕКТОВ.....	355
Орлова А.С.	
ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ АЙ-ТРЕКЕРА «ФОКУС»	359
Ляховец М.В., Макаров Г.В., Куценко А.И.	
САМООБУЧАЮЩИЕСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОБОРГ - СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ.....	363
Соловьев В.И.	
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ.....	370
Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А.	
МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ.....	372
Кунинин П.Н., Рыбаков А.И.	
ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	378
Новосельцева М.А., Гутова С.Г., Хорошева Т.А., Казакевич И.А.	
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОДЕЛЬ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	381
Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ.....	385
Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИНХРОННОМ РЕЖИМЕ.....	393
Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ИНЖИНИРИНГ-МЕТАЛУРГИЯ»	401
Рыбенко И.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ УЧАСТКА БАРЗАСКИЙ 2 ГЛУШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	405
Шестакова О.Е., Венгер М.К.	

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННЫХ СУБД ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ.....	408
Бычков А.Г.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	411
Степанов Ю. А.	
К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ И ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ИХ ПОХОДКИ.....	414
Добрынин А.С., Койнов Р.С., Кулаков С.М., Андрианов О.Н.	
О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ШЕСТИНОГО РОБОТА.....	418
Добрынин А.С., Койнов Р.С., Андрианов О.Н.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗЫНЕРЦИОННЫМИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.....	424
Михов Е.Д.	
ФИЗИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР.....	429
Гусев С.С.	
ПОДСИСТЕМА СВЯЗИ КВАДРОКОПТЕРА НА ОСНОВЕ ARDUINO И КОМПЬЮТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОМОДУЛЯ NRF24101+.....	432
Дворянчиков М.В., Ляховец М.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОВЫХ ВОЛН.....	435
Носков В.Ю., Пухов С.И., Трофимов П.Ю.	
АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ ДАННЫХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ УРОВЕНЬ ДЕТСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ.....	439
Киселева Т.В., Климентьева Е.В.	
АУТСОРСИНГ И СТРАХОВАНИЕ КАК ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ОТ РИСКОВ ИТ-СЕРВИСОВ.....	444
Киселева Т.В., Маслова Е.В.	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	449
Свигова А.М.	
ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ В КОНКУРСНЫЙ МЕХАНИЗМ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДА СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ.....	452
Стрекалов С.В.	
ОБ АЛГОРИТМАХ РАСЧЕТА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА (СКВОЗНОЙ ЭМИССИИ CO ₂) МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ.....	457
Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В.	

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ
AS' 2017**

Труды XI Всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)
14-16 декабря 2017 г.

Под общей редакцией
д.т.н., проф. С.М. Кулакова,
д.т.н., проф. Л.П. Мышляева

Материалы докладов изданы в авторской редакции.

Подписано в печать 30.11.2017 г.
Формат бумаги 60x84 1/8. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,6. Уч.-изд. л. 30,0. Тираж 300 экз. Заказ № 644

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ