

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
ООО «Объединённая компания Сибшахтострой»
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»
Кузбасский научный центр СО АИН им. А.М. Прохорова**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2021**

**ТРУДЫ XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

(с международным участием)

2 – 3 декабря 2021 г.

**Новокузнецк
2021**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор С.М. Кулаков,
д.т.н., профессор Л.П. Мышляев, к.т.н. О.В. Михайлова,
к.т.н., доцент В.А. Кубарев

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) : AS'2021 : труды XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 2–3 декабря 2021 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации , Сибирский государственный индустриальный университет ; под общей ред.: С. М. Кулакова, Л. П. Мышляева. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2021. - 420 с. : ил.

ISBN 978-5-7806-0583-6

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.

УДК 658.011.56

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
ООО «Объединённая компания «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк) ООО
«Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк)
ООО «ЕвразТехника» (г. Новокузнецк)
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс» (г. Кемерово) Журналы:
«Известия вузов. Чёрная металлургия» (г. Москва, Новокузнецк),
«Вестник СибГИУ» (г. Новокузнецк)

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Ивушкин А.А. – д.т.н., профессор, председатель совета директоров ООО «Объединённая компания Сибшахтострой», (г. Новокузнецк), председатель.
2. Бурков В.Н. – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН (г. Москва), заместитель председателя.
3. Зимин В.В. д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем ФГБОУ ВО «СибГИУ», (г. Новокузнецк).
4. Кулаков С.М. – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем ФГБОУ ВО «СибГИУ», (г. Новокузнецк).
5. Новиков Д.А. – член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, директор ИПУ им. Трапезникова В.А. РАН, (г. Москва).
6. Спирин Н.А. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой теплофизики и информатики в металлургии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (г. Екатеринбург).
7. Танг Г. – профессор университета Циньхуа, г. Шеньжень, КНР.
8. Уандыков Б.К. – к.т.н., Министерство транспорта и коммуникаций Республики Казахстан, (Астана).
9. Федосенков Б.А. – д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных и автоматизированных производственных систем ФГБОУ ВО «КузГТУ», (г. Кемерово).
10. Фокин С.Г. – к.т.н., старший научный сотрудник Объединённого института проблем информатики НАН Республики Беларусь, (г. Минск).
11. Хомченко В.Г. – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и робототехники ФГБОУ ВО «ОмГТУ», (г. Омск).
12. Шурыгин Ю.А. – д.т.н., профессор, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУР, (г. Томск).
13. Юсупов Б.С. – к.т.н., доцент Филиала РГУ нефти и газа, (г. Ташкент).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Юрьев А.Б., д.т.н., ректор ФГБОУ ВО «СибГИУ», (г. Новокузнецк) – председатель.
2. Козырев Н.А. – д.т.н., профессор, проректор СибГИУ по научной и инновационной деятельности – зам. председателя.
3. Кулаков С.М. – д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и информационных систем ФГБОУ ВО «СибГИУ», (г. Новокузнецк) – зам. председателя.
4. Грачёв В.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры АИС, зам. директора ООО «НИЦСУ».
5. Добрынин А.С. – к.т.н., научный секретарь конференции – руководитель группы поддержки конференции, ФГБОУ ВО «СибГИУ», (г. Новокузнецк).
6. Жилина Н.М. – д.т.н., профессор, и.о. заведующего кафедрой медицинской кибернетики и информатики ГБОУ ДПО «Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей», (г. Новокузнецк).
7. Зимин А.В. – к.т.н., руководитель центра цифровых компетенций, АО «Евраз ЗСМК».
8. Киселева Т.В. – д.т.н., профессор, профессор кафедры прикладных информационных технологий и программирования ФГБОУ ВО «СибГИУ», (г. Новокузнецк).
9. Крупин Е.А. – нач. рег. центра экспл. АСУТП «Сибирь», ООО «ЕвразТехника».
10. Кубарев В.А. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой электротехники, электропривода и промышленной электроники ФГБОУ ВО «СибГИУ».
11. Ляховец М.В. – к.т.н., доцент, директор ГПОУ «Кузбасский колледж архитектуры, строительства и информационных технологий», (г. Новокузнецк).
12. Михайлова О.В. – к.т.н., зав. кафедрой АИС ФГБОУ ВО «СибГИУ».
13. Мышляев Л.П. – д.т.н., профессор, директор ООО «НИЦСУ», (г. Москва).
14. Никитенко С.М. – д.э.н., в.н.с., ФИЦ угля и углехимии, (г. Кемерово).
15. Павлова Л.Д. – д.т.н., профессор, директор ИИТиАС ФГБОУ ВО «СибГИУ».
16. Петрик Н.А. – к.т.н., доцент, директор НОЦ «Кузбасс», (г. Кемерово).

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Мышляев Л.П.¹, Ивушкин К.А.².

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

²ООО «ОК «Сибшахтострой», Новокузнецк, Россия, myshl_948@mail.ru

Аннотация. Рассматривается место и роль цифровизации в решении задач управления: квантование непрерывных сигналов, построение моделей, прогнозирование, прогнозирующее управление.

Ключевые слова: цифровизация, квантование, прогнозирование, моделирование, управление.

Abstract. In this article considers the place and the role of digitalization for finding the solution of the control problems: quantization of analog signals, modelling, forecasting, predictive control.

Keywords: digitalization, quantization, modelling, forecasting, control.

Цифровизация, цифровой двойник, предиктивное управление, цифровое облако и многие другие термины, связанные с цифровизацией, все больше заполняют научно-техническую и популярную литературу. При этом, цифровизация преподносится как новое универсальное средство решения проблем управления всех сфер человеческой деятельности. Ни в коей мере не отрицая пользу самой цифровизации, возникают вопросы о безудержном применении терминологии, оставляя «за кадром» основы управления: принципы, методы, структуры, алгоритмы анализа и синтеза систем автоматизации управления. Особенно игнорируются именно системные принципы управления [1]. Четко сформулированная конечная цель эффективности управления должна служить сквозным стречнем всей работы, а цифровизация выступать только как один из современных инструментов. Забывается многолетний опыт цифровизации, то есть построения, внедрения и эксплуатации систем автоматизации (начиная с 60-х годов прошлого столетия) с применением цифровых вычислительных машин.

Как связана и влияет цифровизация на развитие теории и практики автоматизации управления, как при этом учитываются достижения теории управления? В связи с этими вопросами, следует рассмотреть некоторые конкретные примеры.

Квантование (дискретизация) непрерывных временных и пространственных переменных. Квантование – неизбежный процесс в цифровых системах управления, обусловленный дискретной природой самих цифровых вычислительных машин [2]. От выбора интервала квантования зависят и показатели качества, и помехозащищенность, и экономические характеристики системы. Частота повторения (интервала квантования) для периодического квантования выбирается согласно теореме Шеннона(Котельникова) и должна, не менее чем в 2 раза, превышать частоту наиболее высокочастотной составляющей, пропускаемой рабочей полосы системы [3]. В противном случае будут появляться негативные последствия фундаментальных эффектов **поглощения и наложения** частот. Более сложные методы квантования, например, многочастотное, вносят и бóльшие погрешности квантования. При квантовании сигналов обязательно введение предымпульсных аналоговых фильтров, которые, в свою очередь, вносят искажения в цифровые данные, что должно учитываться при дальнейшей обработке данных. Аналогичная ситуация и при необходимом введении экстраполятора на интервал дискретизации.

Часто озвучиваемые предложения о выборе очень и очень малого интервала квантования без относительной ориентации на конкретное использование ведут к огромным экономическим потерям. Более того и в этом случае не удастся уйти от решения проблемы поглощения и наложения частоты, но уже при решении задачи децимации при выборе данных для конкретной задачи. Здесь также необходимы предымпульсные фильтры, но уже в цифровой форме, полученные из аналоговых фильтров с помощью, например, Z-преобразования.

Нельзя избежать конкретизации изучаемого и оптимизируемого объекта и при предварительной обработке цифровых данных с помощью фильтрации. На рисунке 1 представлена базовая многовариантная структура слоисто-рекурсивного типа [4], как основа для синтеза сглаживающих и экстраполирующих фильтров. Из этой структуры видно, что можно вырабатывать несколько вариантов (\overline{N}) оценок сглаженных данных в зависимости от целей их применения.

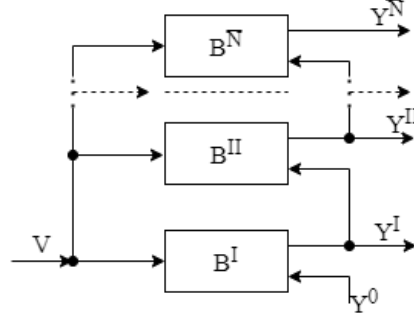


Рисунок 1 – Многовариантная структура слоисто-рекурсивного типа B^N –вариантные операторы, V и Y^N – входные и выходные воздействия, N – число слоев

В инженерных приложениях в примере применяемых фильтрах (формулы 1-10) четко указывается задание Z^* на требуемые свойства используемых цифровых данных.

$$x_l^z(i + \tau) = \tilde{X}_l(i - 1) + \alpha_v V_{l,n}(i - 1); l = \overline{1, \bar{l}}, \quad (1)$$

$$\tilde{X}_l(i - 1) = \tilde{X}_l(i - 2) + \alpha_l(i) \begin{cases} [X_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)] & \text{при } |[X_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)]| \leq \beta_l(i) \\ \beta_l(i) [X_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)] & \text{при } |[X_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)]| > \beta_l(i) \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha_l(i) = \alpha_l^* [1 + k_1 \Delta Z_{l,1}(i) + k_2 \Delta Z_{l,2}(i) + k_3 \Delta Z_{l,3}(i)] \quad (3)$$

$$\beta_l(i) = \beta_l^* [1 + k_1 \cdot \Delta Z_{l,1}(i) \cdot k_2 \Delta Z_{l,2}(i) + k_3 \cdot \Delta Z_{l,3}(i)] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta Z_{l,1}(i) &= Z_{l,1}(i) - Z_{l,1}^*; \Delta Z_{l,2}(i) = Z_{l,2}(i) - Z_{l,2}^*; \\ \Delta Z_{l,3}(i) &= Z_{l,3}(i) - Z_{l,3}^*, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Z_{l,1}(i) &= Z_{l,1}(i - 1) + k_4 \{ \text{sign}[X_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)] \\ &\cdot \text{sign}[x_l^{np}(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 3)] - Z_{l,1}(i - 1) \}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Z_{l,2}(i) &= Z_{l,2}(i - 1) + k_4 \{ \text{sign}[\tilde{X}_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)] \cdot \\ &\text{sign}[\tilde{X}_l(i - 2) - \tilde{X}_l(i - 3)] - Z_{l,2}(i - 1) \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} Z_{l,3}(i) &= Z_{l,3}(i - 1) + k_4 \left\{ \frac{1}{l-1} \sum_{\substack{m=1, \\ m \neq 1}}^{\bar{l}} \text{sign}[\tilde{X}_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2)] \right. \\ &\cdot \text{sign}[\tilde{X}_l(i - 2) - \tilde{X}_l(i - 3)] \cdot \text{sign}[\tilde{X}_m(i - 1) - \tilde{X}_m(i - 2)] \\ &\left. \cdot \text{sign}[\tilde{X}_l(i - 2) - \tilde{X}_l(i - 3)] - Z_{l,3}(i - 1) \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$V_l(i - 1) = \frac{\tilde{X}_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - \tau)}{\tau}, \quad (9)$$

$$\xi_l(i - 1) = X_l(i - 1) - \tilde{X}_l(i - 2) \quad (10)$$

Таким образом, можно констатировать – из непрерывных сигналов квантованием формируются искаженные цифровые данные, требующие предварительной обработки исходя из целей их применения.

Цифровые модели, цифровые двойники наиболее часто используемые словосочетания в вопросах цифровизации. Многократно отмечалось и еще раз следует привести принципиальные свойства моделей и методов их построения в системах управления, на которые указывают:

а) Л. Льюнг [5, С. 19] «Реальная система отличается от построенной нами математической модели. Можно сказать, что мир математических описаний отделен от реального мира непреодолимым, но прозрачным экраном. Глядя на этот экран-окно, мы можем сравнивать некоторые особенности физических систем и соответствующих им математических моделей, но никогда не сможем гарантировать их точного совпадения»;

б) В.Я. Ротач [6, С.7] «Более пристальное изучение проблемы управления показывает, однако, принципиальную ограниченность методов синтеза, основанных на априорно заданных математических моделях объектов. Дело в том, что синтез системы регулирования по заранее заданной модели объекта был бы логически безупречным, если бы свойства модели точно отражали свойства реального объекта. В действительности же всякая модель отражает эти свойства лишь с некоторой степенью приближения. Соответственно при построении модели объекта необходимо прежде всего выбрать критерий, характеризующий погрешность такого приближения, а также указать допустимую величину этой погрешности. Но сделать это в отрыве от конечной цели построения модели, то есть в отрыве от свойств будущей системы регулирования, принципиально невозможно. Иначе говоря, выбор критерия приближения при построении модели объекта в равной мере зависит как от свойств объекта, так и от свойств будущего регулятора, который будет осуществлять регулирование режима работы этого объекта, а также от выбора показателя цели управления».

То есть возникает системный парадокс для того, чтобы построить модель объекта, надо знать регулятор, для синтеза которого и строится модель объекта.

Как правило, в известных публикациях не детализируются цифровые двойники: это модель объекта управления, модель управляющей подсистемы, либо модель всей системы управления. При построении каждой из этих моделей возможны специфические сложности. Например, при идентификации объекта в системе управления, это есть построение модели по данным работы системы, необходимо правильно сформировать полный объект исследования.

Согласно принципам системного анализа полный объект исследования не должен охватываться обратными и прямыми управляющими связями. Несоблюдение этого принципа при формировании данных для идентификации приведет к несостоятельным оценкам модели [7], будет ли обработка данных известными методами математической статистики или модными ныне нейронными сетями. Тогда требуется проведение специальных методов формирования данных: формирование аналогов спланированных экспериментов, традиционные способы снятия кривых разгона, нанесение пробных сигналов на прогнозируемые траектории рабочего управления, нанесение пробных сигналов с исключением эффектов управляющих воздействий, нанесение физически меченых пробных воздействий.

Применение цифровизации не несет каких-либо структурных изменений в указанные методы идентификации. Здесь цифровизация – является инструментарием.

При построении моделей управляющих подсистем, в которых присутствует человек-оператор, необходимо соблюдение положений теории активных систем [8].

Но и адекватной математической модели еще недостаточно, так как необходимы правила переноса результатов математического моделирования на объект-двойник, а это натуральный объект. И здесь нужна теория подобия систем управления, которая находится в настоящее время в зачаточном состоянии [9].

Если построена цифровая модель еще не существующей принципиальной новой системы управления, то также нужны правила перехода цифрового двойника к натурному объекту. На разработку такого направления теории подобия даже нет постановки задачи.

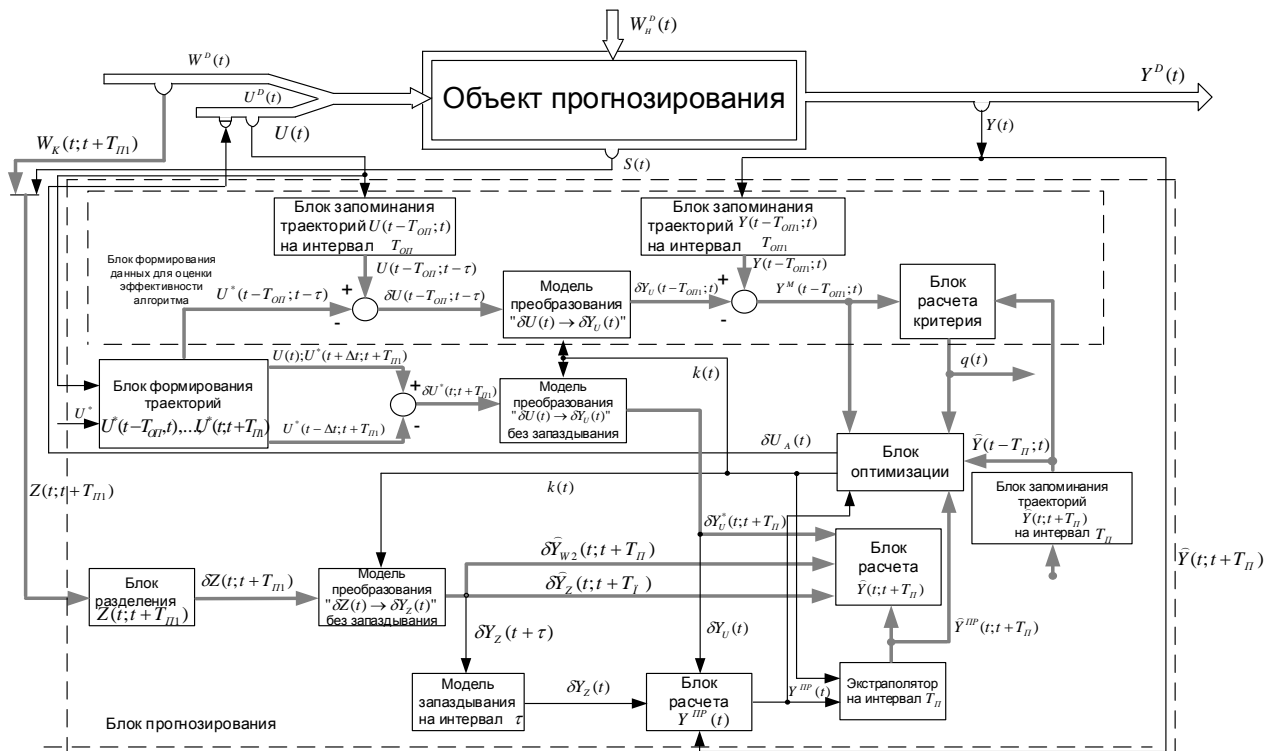
Цифровизация и прогнозирование состояний и выходов объектов управления.

Наиболее важно при прогнозировании в системах управления учитывать следующие особенности [10].

1. Прогнозирование должно быть условным, а именно, при условии фактически реализованных до текущего момента времени и фиксированных после этого момента времени траекториях управляющих воздействий.

2. Результаты прогнозирования могут существенно влиять через реализацию управляющих воздействий на свойства объекта прогнозирования, что, в свою очередь, влечет ухудшение эффективности самого прогнозирования. Этот системный парадокс аналогичен, по сути, тому, что наблюдается при идентификации объектов в системах управления.

3. Поскольку в системах управления порой до 50% вариаций выходных показателей обуславливается неконтролируемыми возмущениями, необходимо оценивание и экстраполяция приведенного возмущения, представляющего совокупный эффект всех таких возмущений. Структурная схема системы прогнозирования, учитывающей перечисленные особенности представлена на рисунке 2.



W, U, Y – внешние, управляющие и выходные воздействия объект управления;
 t, τ - текущие время и время запаздывания

Рисунок 2 - Схема прогнозирования на основе оценивания и экстраполяции приведенных выходных воздействий управляемых объектов

Применение полученных цифровых исходных данных и их цифровая обработка не меняет структуры системы прогнозирования.

Системы предиктивного (прогнозирующего) управления. К числу первых систем с предсказанием относится предложенная еще в 1956 г. Дж. Смитом система для объектов с запаздыванием (рисунок 3), которая получила название САР Смита [11]. В этой САР модель объекта реализуется в реальном времени в темпе с протеканием управляемого процесса.

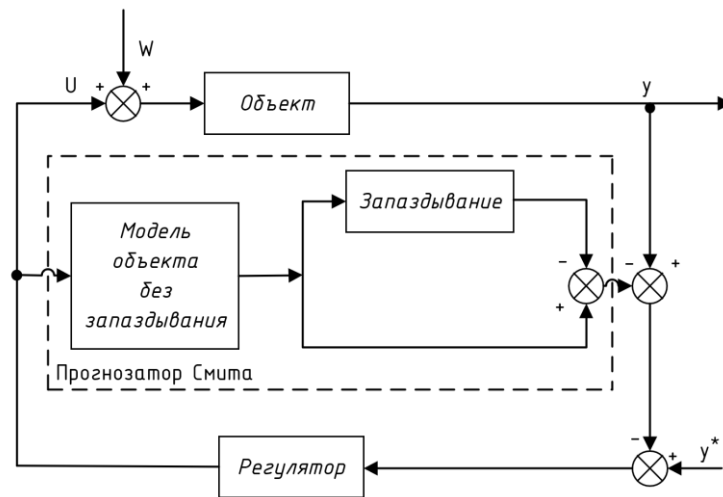
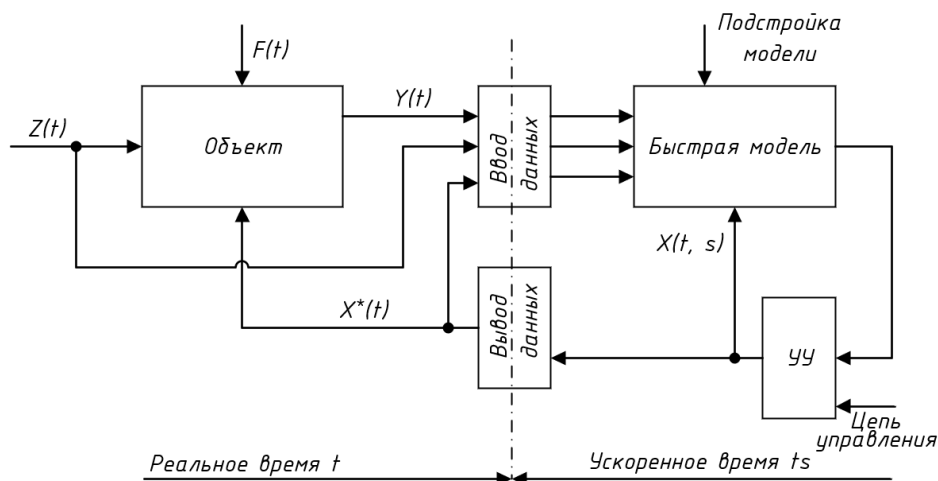


Рисунок 3 – САР Смита

В системах управления с прогнозирующей моделью [12], называемых иногда двухшкальными, модель объекта функционирует в ускоренном масштабе времени для поиска оптимального управления (рисунок 4).



УУ – управляющее устройство; $Z(t)$, $F(t)$, $X^*(t)$ и $Y(t)$ – входные, управляющие и выходные воздействия.

Рисунок 4 – Структурная схема двухшкальной системы управления

Следует специально отметить, что А.А. Красовским предложена структура системы управления, где вместо математической применяется физическая модель объекта управления [13]. К этим классам систем управления можно отнести и системы с эталонной моделью как объекта, так и системы управления. Цифровизация во всех этих системах выступает как инструментарий и, как в предыдущих примерах, не влияет на структуры отдельных подсистем и, в целом, систем управления.

Выводы. Первоочередные при анализе и синтезе систем автоматического управления принципы системного анализа, затем подходы, методы, структуры и алгоритмы систем управления; цифровизация – инструментарием при решении задач управления.

Библиографический список

1. С. В. Емельянов, Э. Л. Наппельбаум. Основные принципы системного анализа. В сб. Проблемы научной организации управления социалистической промышленности.

- Под ред. Д.М. Гвишиани, С.Е. Каменицера. – М.: Экономика, 1974. – 751 с.
2. Б.Н. Петров, Н.И. Соколов, А.В. Липатов и др. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами - М.: Машиностроение, 1986. -256 с.
 3. К. Острём, Б. Виттенмарк. Системы управления с ЭВМ - М.: Мир, 1987. – 480 с.
 4. В.П. Авдеев, Б.А. Кустов, Л.П. Мышляев. Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой. – Новокузнецк: Кузбасс ФИДР, 1992. – 188 с.
 5. Л. Льюнг. Идентификация систем. Теория для пользователя. Перевод с английского. – М.: Наука, Физматлит. – 1991.- 432 с.
 6. В.Я. Ротач. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
 7. С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев и др. Методы идентификации промышленных объектов в системах управления.– Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007.– 307 с.
 8. В.Н. Бурков. Математические основы активных систем. – М.: Наука, 1997. – 255 с.
 9. Л.П. Мышляев. Понятия и условия подобия систем управления/ Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Макаров Г.В. и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2012.№12. – С. 56-58.
 10. С. В. Емельянов, С. К. Коровин, Л. П. Мышляев «Теория и практика прогнозирования в системах управления» — Кемерово-Москва, «Российские университеты», 2008. – 487 с.
 11. О. Дж. М. Смит. Автоматическое регулирование. Перевод с английского. – М.: Физматгиз, 1962г. – 848 с.
 12. Н.М. Александровский, С.В. Егоров, Р.Е. Кузин. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами. – М.: Энергия, 1973 - 272 с.
 13. А.А. Красовский. Оптимальное управление посредством физической прогнозирующей модели// Автоматика и тепломеханика – 1979 г. №2, - С. 156 – 162.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СРЕДСТВ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПАО «ММК»

**Спирин Н.А.¹, Лавров В.В.¹, Гурин И.А.¹, Рыболовлев В.Ю.²,
Краснобаев А.В.², Шнайдер Д.А.²**

¹ *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, n.a.spirin@urfu.ru*

² *ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия*

Аннотация. Рассмотрены требования, структура и архитектура системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ) – АРМ «Технолог доменного цеха», компьютерной системы поддержки принятия решений MES-уровня, внедренной в АСУП доменного производства ПАО «ММК». Представлено краткое описание основных модельных подсистем. Программное обеспечение системы разработано с применением средств цифровизации, современной технологии и средств разработки и сопровождения.

Ключевые слова: доменное производство, система анализа и прогнозирования производственных ситуаций, компьютерная система поддержки принятия решений, Agile, IDEF.

Abstract. The requirements, structure and architecture of the system for analysis and forecasting of production situations in the blast-furnace shop (AIS APPS DC) - workstation "Blast-furnace shop technologist", a computer-based decision support system MES-level, implemented in the automated control system of blast-furnace production of

PJSC "MMK" are considered. A brief description of the main model subsystems is presented. The system software was developed using digitalization tools, modern technology and development and maintenance tools.

Keywords: *blast-furnace production, a system for analyzing and forecasting production situations, a computer decision support system.*

Сегодня многие ведущие металлургические компании России объявили о реализации концепции «Индустрия 4.0». Предприятие, подписавшееся на реализацию концепции «Индустрия 4.0», с точки зрения автоматизации, должно сменить подходы к проектированию и реализации информационных систем [1]. По сути, при проектировании и реализации системы речь должна идти о создании «цифрового двойника» объекта и бизнес-процессов, а система автоматизации должна рассматриваться как часть единого информационного пространства предприятия. Такой подход позволит, со временем, создать единую информационную основу для реализации комплекса задач, направленных на оптимизацию и повышение эффективности работы как отдельных агрегатов, цехов, производств, так и предприятия в целом.

Одним из направлений «Индустрии 4.0» является создание интеллектуальных систем, управляющих технологическим процессом агрегата в режиме реального времени. Интеллектуальным ядром переработки информации в таких системах являются математические модели технологических процессов [2-9]. В то же время фундаментальное описание свойств всех элементов, их взаимосвязей и при существующем уровне знаний и исследований некоторых явлений металлургических процессов в настоящее время не всегда представляется возможным. Требуется развитие и других подходов для моделирования сложных энергоёмких технологических процессов в пирометаллургии.

В этой связи в настоящее время становится все более очевидной роль алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области металлургии MES-уровня (Manufacturing Execution Systems – системы управления технологией, производственными процессами) современных автоматизированных информационных систем крупнейших металлургических предприятий России.

В докладе отражены результаты создания и внедрения автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха на ПАО «ММК» (АИС АППС ДЦ) [1-4]. Рассмотрены требования, структура и архитектура системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха АРМ «Технолог доменного цеха», компьютерной системы поддержки принятия решений MES-уровня, внедренной в АСУП доменного производства ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Представлено краткое описание основных модельных подсистем, а также допущения, принятые в процессе математического моделирования. Программное обеспечение системы разработано с применением современной технологии и средств разработки: гибкая методология разработки (Agile), функциональное моделирование (IDEF0), документирование расчётных блоков математических моделей на основе DFD-диаграмм (Data Flow Diagrams), система отслеживания ошибок для организации взаимодействия с пользователями Atlassian Jira, коллективное владение программным кодом, обмен с удаленным репозиторием GitHub, автоматизированное регрессионное тестирование программных блоков и др. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологическому персоналу оперативно проводить анализ производственных ситуаций доменного цеха, решать ряд технологических задач по управлению тепловым, газодинамическим и шлаковым режимами доменной плавки, а также расчет оптимального состава доменной шихты, что в конечном итоге обеспечивает повышение технико-экономических показателей работы доменного производства.

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) с использованием средств цифровизации.

Направления исследований

- основные принципы построения таких систем и организация работы по их созданию и сопровождению в современных условиях;
- функциональное моделирование процессов обработки данных в системе;
- разработка алгоритмического обеспечения;
- разработка программного обеспечения модельных систем поддержки принятия решений комплекса технологических задач.

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 параметры, свойств обрабатываемых материалов (восстановимость, степень металлизации железорудных материалов и т.п.) и топлива (состав, реакционная 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.;

методе натурно-математического моделирования [10]. 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;

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;

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). 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; принципов структурного системного анализа информатизации процедурно-ориентированного подхода в виде диаграмм потоков данных (Data Flow Diagram, DFD), 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.

Разработанная модель доменного процесса УрФУ–ММК в общем виде представляет собой систему детерминированных зависимостей, характеризующих тепловой, восстановительный, шлаковый и газодинамический режимы доменной плавки. Принятый подход натурно-математического моделирования 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.

Структура системы включает в себя следующие элементы:

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

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

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

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

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

доменной шихты, а также диагностики хода доменной плавки. Каждая из этих подсистем взаимодействует с другими блоками параметров, подсистемами и внешней средой;

– подсистема «Визуализация показателей работы доменного производства» обеспечивает уполномоченным пользователям доступ ко всей отчётной информации по доменному производству в корпоративной сети 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.

В основу организации процесса разработки и сопровождения АИС АППС ДЦ положен Agile-подход, что обеспечивает гибкость при формировании требований заказчиков, документирование процесса разработки, а также своевременный выпуск отдельных версий программного обеспечения. Комплекс задач на разработку включает в себя набор постановок по каждой задаче, ввод их в трекер задач Atlassian Jira и отслеживание их выполнения.

Для программной реализации требуется детальная проработка функциональности отдельных подсистем. С этой целью разработана обобщённая функциональная модель, в основу которой положены идеи и нотации методики структурного анализа и проектирования IDEF0. Использование этой методики позволило создать функциональные блоки отдельных подсистем, выявить производимые ими действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции. Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели АИС АППС ДЦ составляет более 150.

Программная реализация АИС АППС ДЦ представляет собой интегрированный программный комплекс «Автоматизированное рабочее место технолога доменного цеха», разработанный в среде Microsoft Visual Studio 2019 на языке программирования C# с использованием свободно-распространяемого кросс-платформенного фреймворка для создания веб-приложений ASP.NET Core MVC (Model-View-Controller). Взаимодействие с пользовательским интерфейсом осуществляется по протоколу HTTP через специально разработанный программный интерфейс API (Application Programming Interface). Запросы пользователя и результаты модельных отчетов передаются с использованием формата обмена данными JSON (JavaScript Object Notation). Для работы программного обеспечения требуется веб-браузер с поддержкой технологий HTML 5, CSS 3, Javascript.

На рисунке 1 продемонстрирована архитектура информационной системы ПАО «ММК» для обеспечения работы программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха», в котором выделены основные программные модули.

Центральным звеном является структура хранения данных, которая формируется на сервере базы данных АСУ ТП доменного цеха (АСУ ТП ДЦ). Источниками ее наполнения являются аппаратно-программное обеспечение серверов отдельных доменных печей (АСУ ТП ДП). Программный комплекс расположен на web-сервере ДЦ (сервере приложений) на платформе Microsoft SQL Server, в зависимости от требований отдельных подсистем возможно реализовать различные периоды усреднения данных в базе с помощью встроенных механизмов СУБД.

Представленная на рисунке 1 архитектура АИС АППС ДЦ обеспечивает заданную функциональность (решение комплекса технологических задач), выполнение требований предметной области, относительно простое расширение и изменение системы, возможность автономной реализации отдельных программных модулей и их независимость от структуры хранения данных. Расчетные программные модули предоставляют инженерно-технологическому персоналу следующие возможности:

– выполнять формирование и сопоставление отчетных показателей работы доменного цеха, расчет материальных балансов, балансов отдельных элементов, что позволяет оперативно получать достоверную информацию для контроля и сравнения отчетных

показателей работы доменных печей и цеха в целом в разные периоды;

– производить расчёт оптимального состава доменной шихты, в частности: подбор оптимального соотношения долей агломерата ПАО «ММК» и одного из видов привозных окатышей; подбор расхода одного из видов флюсующих материалов; подбор химического состава (основности) агломерата в проектном периоде при заданных расходах или долях железорудных материалов и флюсов;

– выполнять анализ и прогнозирование теплового режима доменной плавки, используя блоки расчета теплового баланса, комплекса показателей тепловых режимов, расхода кокса в базовом и проектном периодах работы доменных печей в случае планируемого изменения видов и свойств железорудного сырья, флюсов, дутьевых параметров, состава жидких продуктов плавки;

– производить анализ и прогнозирование шлакового режима доменной плавки, используя блоки расчета состава и свойств конечного шлака в базовом и проектном периодах работы доменных печей в случае планируемого изменения видов и свойств железорудного сырья, флюсов, дутьевых параметров, состава жидких продуктов плавки;

– производить анализ и прогнозирование газодинамического режима доменной плавки в базовом и проектном периодах работы доменных печей при планируемых изменениях видов и свойств железорудного сырья, дутьевых и других параметров;

– осуществлять выбор оптимального состава доменной шихты, что позволяет с учетом заданных технологических ограничений на шлаковый, газодинамический и тепловой режимы доменных печей определять необходимое соотношение шихтовых материалов, расход флюсов и состав агломерата для обеспечения его заданной основности;

– использовать информационно-логическую систему распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима.

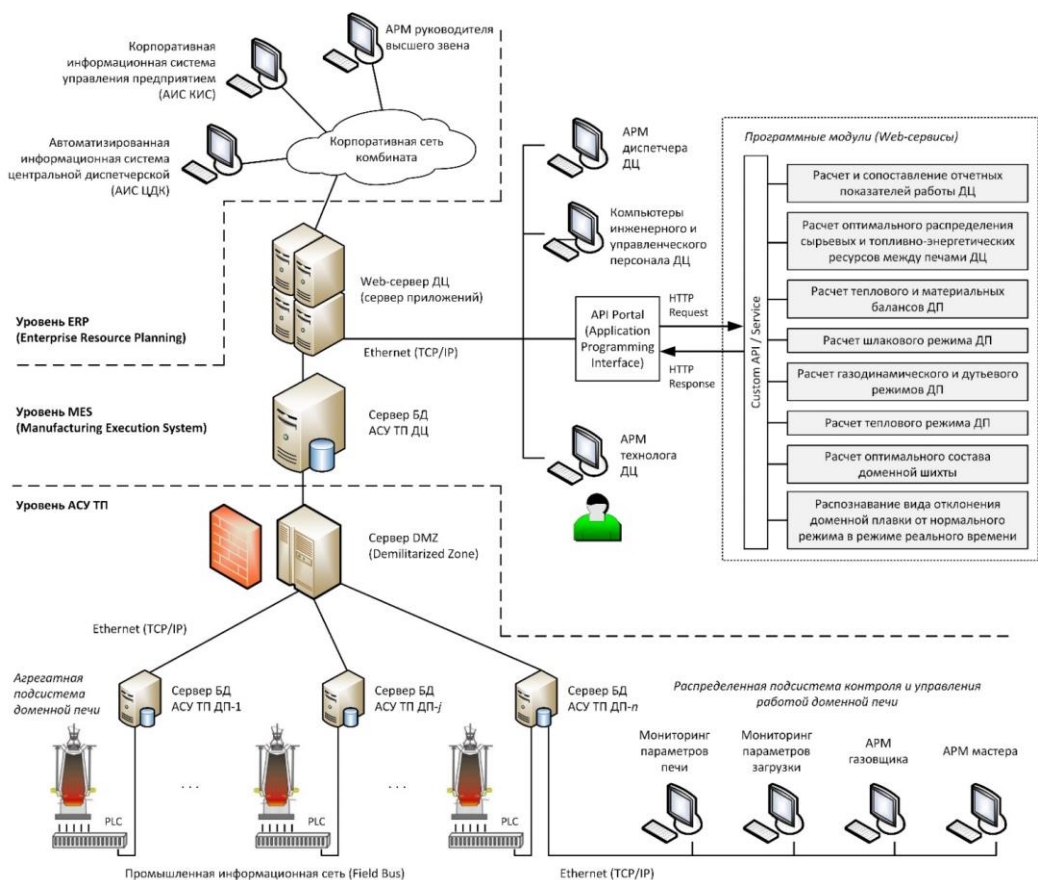


Рисунок 1 - Архитектура информационной системы ПАО «ММК» для обеспечения работы программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха»

Одним из важных элементов разработки качественного программного обеспечения является проведение регрессионного тестирования (тестов регрессии). Регрессионное тестирование проводится после модификации разработанных математических библиотек для уверенности в том, что процесс модификации не внес или не активизировал ошибки в областях, не подвергавшихся изменениям. Большинство регрессионных тестов являются или модульными, или функциональными тестами, которые включаются в определенный набор тестов и гарантируют, что функциональность системы не будет случайно изменена.

Предложенный в работе подход позволил разработать систему, которая на основе имеющейся фактической отчетной информации помогает инженерно-технологическому персоналу доменного цеха осуществлять анализ и прогнозирование производственных ситуаций в доменном цехе, а также решать технологические задачи: оценки теплового, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки при изменении сырьевых и дутьевых параметров; расчета материальных и тепловых балансов доменной плавки; оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей; выбора оптимального состава доменной шихты. Созданная система внедрена в промышленную эксплуатацию в доменном цехе ПАО «ММК». Материалы работы внедрены в учебный процесс в УрФУ.

Библиографический список

1. Scientific problems in creating intelligent control systems for technological processes in pyrometallurgy based on Industry 4.0 concept / Spirin N.A., Rybolovlev V.Y., Lavrov V.V., Gurin I.A., Schnayder D.A., Krasnobaev A.V. // *Metallurgist*. Volume 64, Issue 5-6, 1 September 2020, Pages 574-580. <https://doi.org/10.33313/380/039>.

2. Спирин Н.А. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, А.В. Краснобаев, О.П. Онорин, И.Е. Косаченко; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с. Полный текст <http://hdl.handle.net/10995/39973>.

3. Онорин О.П. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев, И.Е. Косаченко, В.В. Лавров, А.В. Терентьев]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – 301 с. Полный текст <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40111>.

4. Pavlov A.V., Polinov A.A., Spirin N.A., Onorin O.P., Lavrov V.V. Use of model systems for solving new technological problems in blast-furnace production // *Metallurgist*. 2017. Vol. 61. No. 5-6. Pp. 448-454. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0516-7>.

5. Cameron I., Sukhram M., Lefebvre K., Davenport W. Blast furnace ironmaking: analysis, control and optimization. 1st ed. Elsevier Science. 2019. 828 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00007-1>.

6. Zhang Y., Sukhram M., Cameron I., Bolen J., Rozo A. Industrial perspective of digital twin development and applications for iron and steel processes // *AISTech – Iron and Steel Technology Conference Proceedings*. 2020. Vol. 3. Pp. 1975-1984. <https://doi.org/10.33313/380/213>.

7. Kuang S., Li Z., Yu A. Review on modeling and simulation of blast furnace // *Steel Research International*. 2018. Vol. 89. No 1. Article 1700071. <https://doi.org/10.1002/srin.201700071>.

8. Alter M.A. Optimization of parameters of blast furnace smelting under conditions of plant operation with limited supply of coke, natural gas or iron-bearing materials // *AISTech – Iron and Steel Technology Conference Proceedings*. 2020. Vol. 1. Pp. 302-309. <https://doi.org/10.33313/380/035>.

9. Hashimoto Y., Kitamura Y., Ohashi T., Sawa Y., Kano M. Transient model-based operation guidance on blast furnace // *Control Engineering Practice*. 2019. Vol. 82. Pp. 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.10.009>.

10. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев, А.С. Рыков, В.Ф. Евтушенко. М.: Российские университеты, 2008. 487 с.

СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ

Чичерин И.В., Федосенков Б.А.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия, rafwaveletsve@mail.ru

Аннотация. Целью данного исследования являлось представление современной концепции проектирования систем мониторинга и управления динамикой нестационарных режимов на примере формирования системы управления карьерными беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ. В частности, в программно-аппаратный комплекс, входящий в состав глобальной структуры «Умный карьер», заложены условия соответствия формы определенных текущих траекторий (их девиации влево или вправо от номинальной осевой траектории) информационным «траекторным» чирп-сигналам – сигналам с время-зависимой мгновенной частотой.

Ключевые слова: карьерные маршруты, беспилотные транспортные средства, модальное управление, девиационные траектории, вейвлеты.

Abstract. The purpose of this study was to present a number of aspects in a modern concept for designing the systems of monitoring and controlling the dynamics of non-stationary regimes, and this was shown on the example of forming the system for controlling the quarry unmanned vehicles in open pit mining. In particular, certain conditions of matching the character of defined current trajectories (when the latter deviates to the left or right from the nominal axial trajectory) to relevant information trajectory chirp signals, which are time-dependent frequency signals, were laid into the hardware and software system included in the global «Smart Quarry» structure.

Keywords: quarry routes, unmanned vehicles, modal control, deviation trajectories, wavelets.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-20 19-034 от 22.11.2019 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе “Умный карьер”», при участии Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Для устойчивого и эффективного развития горнорудных предприятий, в том числе угольных и рудных разрезов для открытой добычи полезного ископаемого, весьма важным фактором является внедрение новейшей горнотранспортной техники, к которой относится получающее всё большее распространение автономное транспортное оборудование и, в первую очередь, беспилотные автосамосвалы большой и сверхбольшой грузоподъемности. В связи с этим, научная теоретическая и практическая формы исследования поведения такого рода объектов в конфликтной среде представляют собой чрезвычайно актуальные аспекты функционирования современных производственных систем.

В представленном исследовании рассмотрены принципы динамического модального управления передвижением беспилотных транспортных средств (БТС) [1, 2, 7] по прямым и искривлённым технологическим маршрутам в карьерах в условиях открытых горных работ. Технологические маршруты задаются в так называемом формате сплайн-фреймов (*S*-фреймов), то есть в формате полос движения в виде искривленных (выпуклых или вогнутых) сплайн-окон.

Рассмотрим вопросы, связанные с характеристиками сигналов, формируемых в программно-аппаратном комплексе производственной структуры «Умный карьер» и отражающих динамику текущих траекторий БТС на технологических маршрутах.

В директориях программно-аппаратного комплекса заложены условия соответствия динамики определённой текущей траектории, то есть её девиации влево / вправо от номинальной осевой траектории (НОТ), информационным «траекторным» синусоидально подобным сигналам $x(t)$: влево – сигнал с падающей мгновенной частотой, вправо – с возрастающей. В теории обработки сигнальной информации такого рода сигналы имену-

ются «чирп-сигналами» [3, 4], то есть сигналами, изменяющимися с мгновенной время-зависимой частотой.

На рисунке 1 на прямом *S*-фрейме изображены две девиационные текущие траектории с указанием прямых (отклоняющихся от НОТ) и обратных (возвращающихся к НОТ) текущих траекторий. В программно-аппаратном комплексе, входящем в состав автоматизированной системы диспетчеризации структуры «Умный карьер», прямым и обратным переходным процессам, как указано выше, ставятся в соответствие одномерные (скалярные) информационные чирп-сигналы – сигналы $x(t)$ с время-зависимой частотой. По характеру этих сигналов, а также по их многомерным вейвлет-отображениям [3, 4], в подсистемах внешнего (в составе автоматизированной системы диспетчеризации) и автономного (установленного на борту БТС) управления (ПСВУ и ПСАУ) осуществляется процесс формирования и отслеживания текущих траекторий перемещения БТС по соответствующему маршруту в карьере.

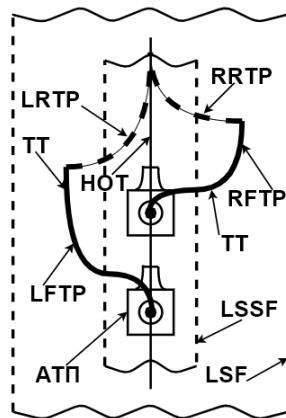


Рисунок 1 - Схема возникновения возмущенных прямых (девиационных) и формирования обратных восстанавливающих траекторий беспилотного транспортного средства на прямом участке *S*-фрейма при уходе текущих траекторий влево и вправо от номинальной осевой траектории

Принцип статического модального управления. Статическое модальное управление [5, 6] подразумевает принудительное размещение полюсов объекта управления на комплексной плоскости с помощью матрицы полной обратной связи по состоянию [5, 6]. Объектом управления здесь является сигнал о текущей траектории БТС на маршруте. Принудительное размещение полюсов необходимо для удовлетворения требования обеспечить соответствующее качество регулирования [5], то есть формирование определённой текущей траектории (ТТ) на маршруте.

Принцип динамического модального управления. Отличие динамического модального управления от статического состоит в том, что в ходе переходного процесса происходит смена локализации ряда полюсов на комплексной плоскости, то есть переформатирование созвездия полюсов. Это, в свою очередь, ведет к варьированию качества регулирования в связи с изменением характера переменных состояния [6] объекта управления. Такое варьирование обуславливается динамическим изменением значений элементов матрицы обратной связи. Подобное динамическое изменение формы созвездия полюсов приводит к динамическому изменению ТТ БТС.

Формирование девиационных ТТ. Рассмотрим подробнее процесс формирования текущих траекторий при их девиациях от НОТ.

На рис. 1 приведены следующие обозначения: LSF (local spline frame) – локальный *S*-фрейм; LSSF (local sub-spline frame) – локальный суб-*S*-фрейм; АТП – автономная тяжёлая платформа (БТС); НОТ – номинальная осевая траектория движения АТП; LFTP / RFTP (left forward transient process / right forward transient process) – соответственно прямые переходные процессы девиации текущей траектории движения БТС влево / вправо от

HOT; LRTP / RRTP (left reverse transient process / right reverse transient process) – соответственно обратные переходные процессы восстановления HOT при девиации текущей траектории движения БТС влево / вправо от HOT.

На рис. 2 в совмещённом виде схематично изображены искривленные S-фреймы с текущими траекториями, уходящими влево и вправо от HOT. Сплошными тонкими линиями изображены две линии HOT движения БТС.

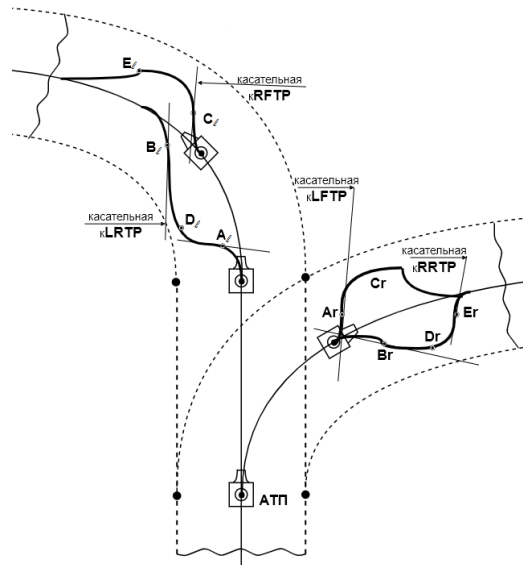


Рисунок 2 - Искривленные S-фреймы с текущими траекториями, уходящими влево и вправо от номинальной осевой траектории, изображенные в совмещенном виде

На фрагменте S-фрейма, уходящего по кривой вправо, точками A_r и B_r отмечены точки перегиба сигнала левой и правой прямой траекторий, а точкой E_r – точка перегиба на правой обратной траектории. На маршруте с левым искривлением аналогичные точки перегиба на левой и правой прямой траекториях – это точки A_l и B_l , а точкой C_l отмечена точка перегиба на правой прямой девиационной траектории. Точки перегиба на текущих траекториях удовлетворяют траекториям, формируемым в соответствии с апериодическим процессом второго порядка. К ним относятся ТТ с сигналами, соответствующими левым прямому и обратному переходным процессам, а также – правому прямому на маршруте с левым искривлением. На маршруте с правым искривлением по апериодическому процессу второго порядка формируется траекторный сигнал на левом прямом участке ТТ, а на правой девиационной траектории – на её прямом и обратном участках.

Точки активации процедуры модального управления – это точки C_r и D_r на левой и правой траекториях соответственно. Точки активации модального управления на девиационных ТТ БТС на маршруте с левым искривлением отмечены как D_l и E_l соответственно на ТТ, отклонившейся влево / вправо от HOT.

Обратный переходный процесс в режиме модального управления для левой девиационной траектории на S-фрейме с правым искривлением, формируемый в режиме апериодического процесса первого порядка, имеет такой же характер, как и для правой девиационной ТТ на S-фрейме с левым искривлением.

С целью информативно-полной и семантически-прозрачной обработки сигналов в ПСАУ и ПСВУ, в программные комплексы последних введены фрагменты, обеспечивающие формирование вейвлет-преобразований с их элементами: вейвлет-функциями [4], алгоритмом вейвлет-поиска соответствия [3, 4], квадратичными вейвлет-распределениями класса Козна [4].

Переходные процессы в сигналах девиационных текущих траекторий. Следует отметить, что формирование девиационных текущих траекторий обусловлено возникнове-

нием на рабочем маршруте динамического препятствия, например, в виде группы идущих людей, стационарного препятствия типа временно установленных средств освещения, электротехнических распределительных устройств с воздушным / кабельным отведением или лежащих на дорожном полотне негабаритных кусков породы / угля.

Объезд транспортным средством динамического или статического препятствия выполняется с учетом следующих положений.

1. Сигнал девиационной ТТ рассматривается состоящим из двух участков (переходных процессов): начального участка траектории в виде прямого переходного процесса (ПП) и конечного – в виде обратного ПП. Начальный участок траекторного сигнала представляет собой автономно-спорадический процесс, конечный – принудительно-модальный.

В зависимости от стороны объезда препятствия одномерный траекторный чирп-сигнал формируется либо с падающей мгновенной частотой (рис. 3), что соответствует отклонению ТТ влево от НОТ, либо с возрастающей (рис. 4) – при этом ТТ БТС отклоняется вправо от НОТ.

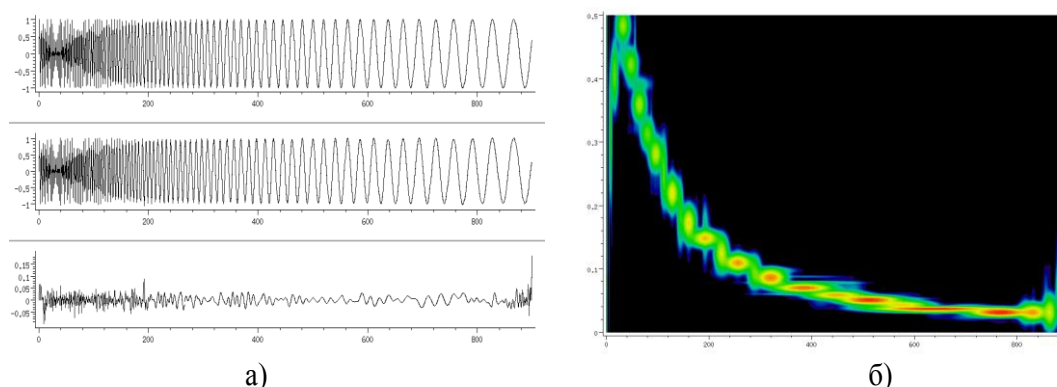


Рисунок 3 - Одномерный траекторный сигнал для девиационной траектории беспилотного транспортного средства при ее отклонении влево от номинальной осевой траектории: а – исходный сигнал, его аппроксимация и ошибка аппроксимации; б – карта Вигнера сигнала в переходном режиме

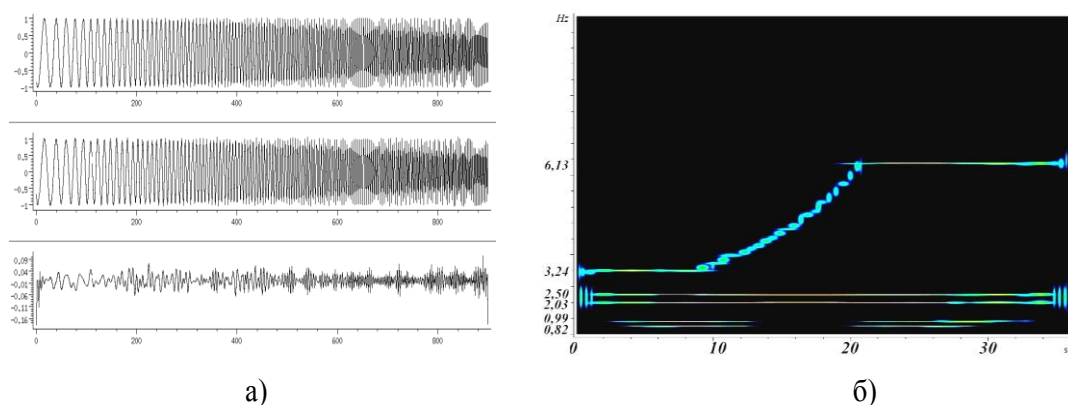


Рисунок 4 - Одномерный траекторный сигнал для девиационной траектории беспилотного транспортного средства при ее отклонении вправо от номинальной осевой траектории: а – исходный сигнал, его аппроксимация и ошибка аппроксимации; б – карта Вигнера сигнала в переходном режиме

На рисунке 3, а показан прямой переходный процесс для девиационной траектории БТС при её отклонении влево от НОТ в центрированном виде; здесь же представлен реконструированный по алгоритму вейвлет-поиска соответствия (ВПС-алгоритму) траекторный сигнал этого режима, а также ошибка аппроксимации. При этом сигнал прямого ПП имеет вид чирп-сигнала с падающей время-зависимой мгновенной частотой. На рисунке 3, а при-

ведена карта Вигнера (время-частотное распределение Вигнера) [4] этого процесса.

На рисунке 4, *a* представлен прямой переходный процесс для девиационной ТТ БТС при её отклонении вправо от НОТ в центрированном виде; здесь же – реконструированный траекторный сигнал этого режима и ошибка аппроксимации. При этом сигнал прямого ПП имеет вид чирп-сигнала с возрастающей время-зависимой мгновенной частотой. На рисунке 4, *б* приведена карта Вигнера переходного процесса в виде время-частотного распределения.

На вейвлет-карте (*W*-карте, рисунок 4, *б*) динамики ТТ БТС показан зафиксированный экспериментально восходящий прямой переходный процесс (ВППП), то есть автономно-спорадический (АСПП), при реализации начального участка девиационной ТТ БТС при её отклонении вправо от НОТ в формате вейвлет-распределения Вигнера. В частности, при этом мгновенная частота чирп-сигнала переходного процесса меняется в диапазоне 3,24–6,13 Гц.

Отметим, что восходящий обратный переходный процесс (ВОПП), то есть принудительно-модальный (ПМПП), принят в автоматизированной системе модального управления таким же по форме, что и ВППП на начальном участке ТТ БТС, с целью формирования процессов, восстанавливающих номинальную текущую траекторию БТС, в естественном виде – с точки зрения функционирования электроприводов ходовой части.

2. Выбор автоматизированной системой (её комплексами ПСВУ или ПСАУ) направления объезда (влево / вправо от препятствия) осуществляется при параметрах, приведённых на рисунке 5: здесь W – фронтальный размер препятствия; F_{min} – минимальное расстояние на виде в плане между передним бампером БТС и ближайшей к нему допустимой точкой препятствия; A_r – точка активации процесса модального управления; V – расстояние от линии НОТ до правой крайней точки препятствия на его фронтальной проекции; АСПП – автономно-спорадический переходный процесс (соответствует начальному участку девиационной траектории – ДТ); ПМПП – принудительно-модальный (соответствует конечному участку ДТ). Активация принудительно-модального процесса возникает в точке максимального отклонения $x(t)_{max}$ девиационной траектории под влиянием автономно-спорадического возмущения.

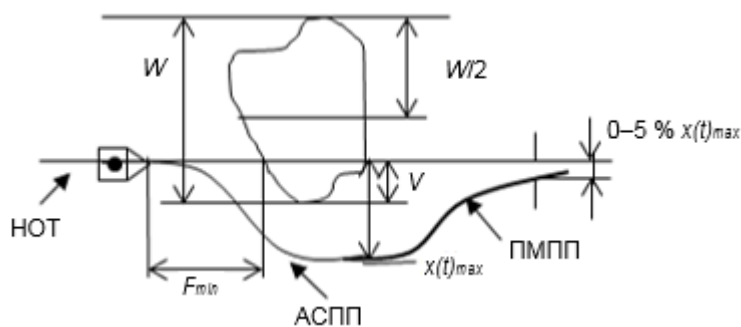


Рисунок 5 - Схема взаимного расположения беспилотного транспортного средства и препятствия на его пути с наложенным изображением правой девиационной траектории

При фиксации лидарно-радарно-сонарным узлом ПСАУ БТС критериального значения расстояния до препятствия F_{min} система проверяет выполнение соотношений: $V < W/2$ – в этом случае объезд выполняется справа, или $V > W/2$ – объезд слева.

При объезде препятствия беспилотником, ПСАУ формирует девиационную траекторию в соответствии с апериодическим процессом второго порядка, обеспечивая тем самым плавность и аккуратность объезда. Подобная форма объезда даёт возможность избежать столкновения БТС с бортом уступа, находящимся справа, а для возвратного движения БТС в забой или для встречного беспилотного автосамосвала – падения с уступа.

Как указано выше, на рисунке 5 схематично показана траектория, которую формирует сигнал ПМПП. Окончание такого обратного процесса фиксируется в момент регистрации значения ошибки рассогласования сигнала ТТ с сигналом-линией НОТ в коридоре

ре 5 % от значения траекторного сигнала $x(t)_{max}$ в момент активации процесса модального управления.

Оценка параметров модального регулятора. Разработан алгоритм пересчета матрицы модального регулятора в виде цепочки последовательно реализуемых матричных процедур. При этом отметим следующее: для левой девиационной траектории восстанавливающий ВОПП происходит под действием двух увеличенных постоянных времени по двухэкспоненциальной зависимости, которые назначаются автоматизированной системой и остаются постоянными; при этом, оба вещественных отрицательных полюса переходного процесса поджимаются к мнимой оси $jIm S_p$ (это соответствует более плавному переходу из области максимальной девиации в область восстановления сигнала НОТ), а пара мнимых полюсов динамической модели ТТ БТС должна расходиться по мнимой оси и непрерывно меняться в ходе ПМПП. При этом нужно помнить, что на восстанавливающий аperiodический скалярный сигнал накладывается синусоидально подобная chirp-составляющая, отвечающая за ориентацию девиации ТТ БТС относительно НОТ.

Для правой девиационной ТТ БТС при нисходящем обратном принудительно-модальном переходном процессе (НОПП), имеющим вид импульсной переходной характеристики аperiodического звена первого порядка, процесс идет под действием уменьшенной постоянной времени T . Поэтому вещественный отрицательный полюс по модулю должен вырасти и оставаться постоянным в течение всего процесса восстановления номинального режима, а пара мнимых полюсов – сближаться и оставаться варьируемыми в ходе переходного процесса.

Заключение

Рассчитываемые параметры модального регулятора позволяют задавать требуемые варьируемые полюсы замкнутой системы управления с полной обратной связью по состоянию, которые определяет автоматизированная система модального управления по заданному алгоритму.

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления процессом девиации текущих траекторий выполняет функции управления динамикой оперативного и безопасного траекторного перемещения беспилотного транспортного средства по карьерным маршрутам в условиях открытых горных работ, что, в свою очередь, способствует проведению производственного процесса на эффективном и безопасном уровнях.

Библиографический список

1. Чичерин И. В. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ / И.В. Чичерин, Б.А. Федосенков, И.С. Сыркин, В.Ю. Садовец, Д.М. Дубинкин // Известия вузов. Горный журнал. № 8. 2020. – С. 109–120.
2. Костюк С. Г. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий / С.Г. Костюк, И.В. Чичерин, Б.А. Федосенков, Д.М. Дубинкин // Устойчивое развитие горных территорий. Т. 12, № 4. 2020. – С. 600–608.
3. Mallat S. Matching pursuit with time-frequency dictionaries / S. Mallat, Z. Zhang // IEEE Transactions on Signal Processing. Vol. 41, Iss. 12. 1993. – P. 3397–3415.
4. Mallat S. A wavelet tour of signal processing. San Diego: Academic Press. 1999. Reprinted 2001. – 637 p.
5. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп // пер. с англ. Б. И. Копылова. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
6. Goodwin G. C. Control system design / G.C. Goodwin, S.F. Graebe, M.E. Salgado // New York: Prentice Hall, Pearson Education, Inc., 2001. – 944 p.
7. Chicherin I. V. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I.V. Chicherin, B.A. Fedosenkov, I.S. Syркин, V.Yu. Sadovets, D.M. Dubinkin // Известия вузов. Горный журнал. № 2. 2021. – С. 103–112 (In English).

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Чичерин И.В., Федосенков Б.А.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия, rafwaveletsve@mail.ru*

Аннотация. *Определен объект управления в виде сигналов текущих траекторий (ТТ), по которым перемещаются беспилотные транспортные средства (БТС). Описана предметная область исследований – принцип и технология формирования сигналов, создаваемых автоматизированной системой для управления БТС при их передвижении по карьерным маршрутам. Объясняются причины и сущность эффектов структурной и параметрической нестационарности объекта управления.*

Ключевые слова: *беспилотные транспортные средства, текущие траектории, чирп-сигнал, вейвлет-карта, структурно-параметрическая нестационарность.*

Abstract. *The article defines the object of control in the form of signals of current trajectories (CT), along which unmanned vehicles (UMV) move. It describes the subject field of research – the principle and technology of forming the signals generated by the computer-aided system for modal controlling the UMVs during their movement along quarry routes. The essence and reasons for the effects of structural and parametric nonstationarity of the control object (CO) are explained.*

Keywords: *unmanned vehicles, current trajectories, chirp signal, wavelet map, structural-parametric non-stationarity.*

В процессе управления траекторными сигналами, т. е. сигналами, с помощью которых создаются текущие траектории перемещения беспилотного транспортного средства (БТС), бортовая автоматизированная система управления [1] непрерывно формирует и подает управляющее воздействие на систему электромеханической части БТС, состоящей из рулевого механизма (исполняющего роль исполнительного механизма системы управления), электропривода ходовой части БТС (регулирующего органа системы) и ходового колесного механизма, приводя объект управления в виде сигналов текущей траектории (ТТ) к номинальному состоянию, то есть к сигналу, соответствующему номинальной осевой траектории (НОТ). Таким образом, в системе управления возникают нестационарные процессы (режимы) траекторных сигналов, при отработке которых автоматизированной системой БТС формируются текущие траектории перемещения автосамосвала в процессе его «рыскания» или целенаправленного передвижения по определенным девиационным траекториям относительно НОТ.

С целью идентификации предстоящего формирования текущей девиационной траектории БТС при объезде какого-либо препятствия или при движении по искривленным маршрутам в программно-аппаратный комплекс системы заложены условия соответствия требуемого направления определенным одномерным синусоидально подобным сигналам с время-зависимой частотой (чирп-сигналам) [1, 2]. Так, отклонению ТТ влево от НОТ ставится в соответствие чирп-сигнал с падающей по определенному закону время-зависимой частотой, а девиации ТТ вправо от НОТ – с возрастающей.

Характеристика нестационарности объекта управления

В процессе перемещения БТС по рабочему маршруту на пути автосамосвала могут возникать разного рода препятствия, которые бортовая система управления с помощью лидарно-радарно-сонарного устройства обнаруживает в зоне своей «видимости». Это могут быть препятствия как стационарного, так и динамического характера: временно установленные технические средства в виде осветительных опор, электротехнические распределительные устройства с воздушным или кабельным отведением, иные статические препятствия (негабаритные куски породы или полезного ископаемого), а также группы людей или встречные транспортные средства на проезжей части уступа. Поэтому необходимость возможности формирования для БТС девиационных текущих

траекторий системой управления обусловлена требованием преодолевать разного рода препятствия путем изменения текущей траектории перемещения БТС – ее отклонения от НОТ. При этом такие возникающие время от времени возмущения в составе траекторных сигналов уместно назвать спорадическими.

Формирование девиационной траектории БТС (ДТ БТС) производится за счет варьирования частоты траекторного сигнала (т. е. частоты чирп-сигнала, формирующего ДТ БТС) в переходном режиме, что, в конечном счете, приводит процесс начального отклонения ТТ БТС к новому установившемуся частотному режиму, который не соответствует сигналу, характеризующему НОТ. При этом девиация ТТ может происходить как влево от НОТ, так и вправо от неё. В связи с этим стабилизация чирп-сигнала для левой девиационной ТТ (ЛДТ) происходит на уменьшенной частоте, а правой (ПДТ) – на возросшей. Для реализации процедуры возврата ТТ к НОТ в том и другом случаях требуется воздействовать на внутреннюю структуру замкнутой системы автоматического управления так, чтобы изменить структурные и параметрические характеристики системы управления. Следовательно, для формирования начального и конечного участков полной ДТ БТС необходимо создать условия, с одной стороны, для реализации отклика на автономно-спорадическое возмущение, являющееся причиной возникновения начального участка ДТ БТС, с другой, для компенсации возникшего отклонения ДТ от линии НОТ средствами принудительно-модального управления при структурно-параметрической нестационарности за счет введения дополнительных полюсов и изменения стационарно-динамического размещения на комплексной плоскости всего облака полюсов системы [3, 4].

На рисунке 1 отображены два варианта размещения полюсов объекта управления, характеризующие так называемые «обратные переходные процессы», которые соответствуют конечным участкам ДТ БТС восходящего и нисходящего типов при модальном управлении [3–5].

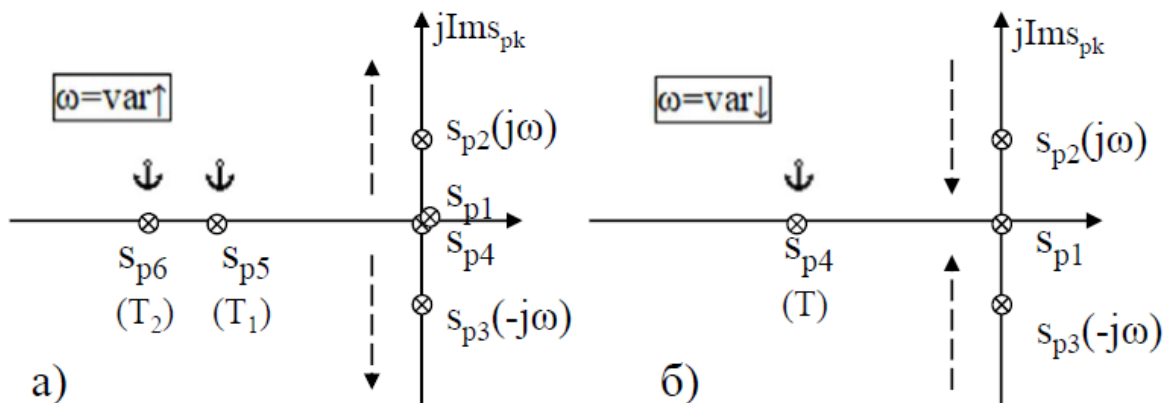


Рисунок 1 - Схематичное размещение закрепленных на комплексной плоскости вещественных полюсов s_{p4} , s_{p5} , s_{p6} , определяющих инерционность переходных процессов, и мнимых полюсов s_{p2} , s_{p3} с изменяющейся во времени локализацией, формирующих частотное изменение восходящего (а) и нисходящего (б) переходных процессов для конечных участков ЛДТ и ПДТ БТС соответственно

На рисунке 1, а представлены статичные («якорные») полюсы s_{p4} , s_{p5} и s_{p6} , которые определяют инерционные свойства переходного процесса в виде аperiodической функции второго порядка [3]. Здесь мнимые полюсы s_{p2} , s_{p3} определяют характер сигнала с непрерывно варьируемой частотой, создающего конечный участок левой девиационной траектории (ЛДТ) в виде скалярного чирп-сигнала. На рисунке 1, а для восходящего обратного переходного процесса (ВОПП) дополнительно возникающие полюсы s_{p5} и s_{p6} , соответствующие постоянным времени T_1 и $T_2 < T_1$, назначаются системой динами-

ческого модального управления фиксированными на комплексной плоскости. Эти полюсы создают двухэкспоненциальную аperiodическую компоненту траекторного сигнала конечного участка ЛДТ, компенсирующего девиацию текущей траектории от номинальной осевой. Нулевой полюс Sp4 соответствует ступенчатому воздействию, создающему аperiodический процесс для ТТ БТС, а полюс Sp1 характеризует постоянную составляющую нецентрированного сигнала ТТ.

Чирп-характер переменной составляющей сигнала, формирующего конечный участок ЛДТ, определяется сопряженными полюсами Sp2, Sp3, непрерывно расходящимися по мнимой оси. При этом возрастает мгновенная частота чирп-сигнала, создавая ВОПП в системе, что, в свою очередь, инициирует формирование конечного участка ЛДТ, возвращая БТС к перемещению по НОТ.

На рисунке 1, б полюс Sp4 (инвариантный по времени процесса перемещения БТС), определяемый постоянной времени T, задает инерционность нисходящего одноэкспоненциального процесса по типу импульсной переходной характеристики аperiodики первого порядка [3]. Пара мнимых полюсов Sp2, Sp3 сходится, формируя нисходящий по частоте чирп-сигнал, создающий конечный участок правой ДТ. Такой процесс изменения траекторного сигнала именуется нисходящим обратным переходным процессом (НОПП). В терминах перемещения БТС по маршруту это соответствует постепенному выходу БТС по ПДТ на НОТ.

Таким образом, при девиации ТТ вправо от НОТ, приводящей к повышению частоты траекторного сигнала, необходимо – с целью стабилизации режима движения БТС по осевой линии – снизить общий коэффициент передачи замкнутой системы, а также уменьшить значение мнимой сопряженной пары полюсов. Что касается обратного переходного процесса при старт-стопном режиме перемещения БТС, то снижать значение мнимых полюсов следует только для наиболее мощных субгармоник первой гармоники Фурье-модели. Модель при этом имеет вид $B1 \sin \omega t + A1 \cos \omega t$. Режекция высших гармоник выполняется средствами низкочастотной фильтрации.

Отметим, что в базах данных структур набора полюсов объекта управления (ОУ), то есть ТТ-сигналов, подсистем автономного и внешнего управления (ПСАУ и ПСВУ) содержатся следующие совокупности полюсов:

- для одного БТС при его девиации влево/вправо от НОТ при ВППП число полюсов возрастает с 2 до 5 (при центрированном ТТ-сигнале);
- для одного БТС при восстанавливающей НОТ ТТ (т. е. при НОПП) число полюсов увеличивается с 2 до 3.

Следовательно, с увеличением числа полюсов в составе ОУ в виде центрированного ТТ-сигнала в системе возникает эффект структурной нестационарности, поскольку меняется порядок изображения сигнала – порядок модели ОУ. При варьировании же значений пары мнимых сопряженных полюсов, приводящем к изменению частоты чирп-сигнала ТТ БТС, возникает эффект параметрической нестационарности.

Модальное управление текущими траекториями

С целью формирования ДТ БТС нами использован подход на основе ранее разработанной концепции управления процессами дозирования в условиях структурно-параметрической нестационарности [5].

При реализации восходящего обратного переходного процесса, отвечающего за формирование конечного участка левосторонней девиации ТТ на основе модального управления, восстановление номинального режима перемещения БТС производится по зависимости вида [3] $x(t)b/ei = x(t)0b/ei + x(t)mb/ei \sin[2\pi fvar(t - \tau b) - \varphi 0]$, где $fvar = fb[1(t - \tau b)] + (fe - fb) ([1(t - \tau e)] \cdot \exp[-(t - \tau b) / T3] T3 / (T3 - T4) + \exp[-(t - \tau b) / T4] T4 / (T3 - T4))$ – варьирование частоты восходящего чирп-сигнала (ВОПП); $x(t)mb/ei = xmbi + t/T$, $\tau b \leq t \leq \tau e$ – изменение амплитуды переменной компоненты ВОПП; $x(t)0b/ei = x0bi [1(t - \tau b)] + (x0ei - x0bi) ([1(t - \tau e)] - \exp[-(t - \tau b) / T3] T3 / (T3 - T4) + \exp[-(t - \tau b) / T4] T4 / (T3 - T4))$ – изменение аperiodической составляющей обратного переходного процесса; $\varphi 0$ –

начальная фаза chirp-сигнала; t – текущее время; t_b и t_e – соответственно моменты начала и окончания переходного процесса.

Таким образом, полный график переходных процессов при двух циклах отклонения ТТ БТС влево/вправо от НОТ, включающий нисходящий прямой (НППП) / восходящий обратный (ВОПП) переходные процессы, а также восходящий прямой (ВППП) и нисходящий обратный (НОПП), имеет следующий вид (рисунок 2).

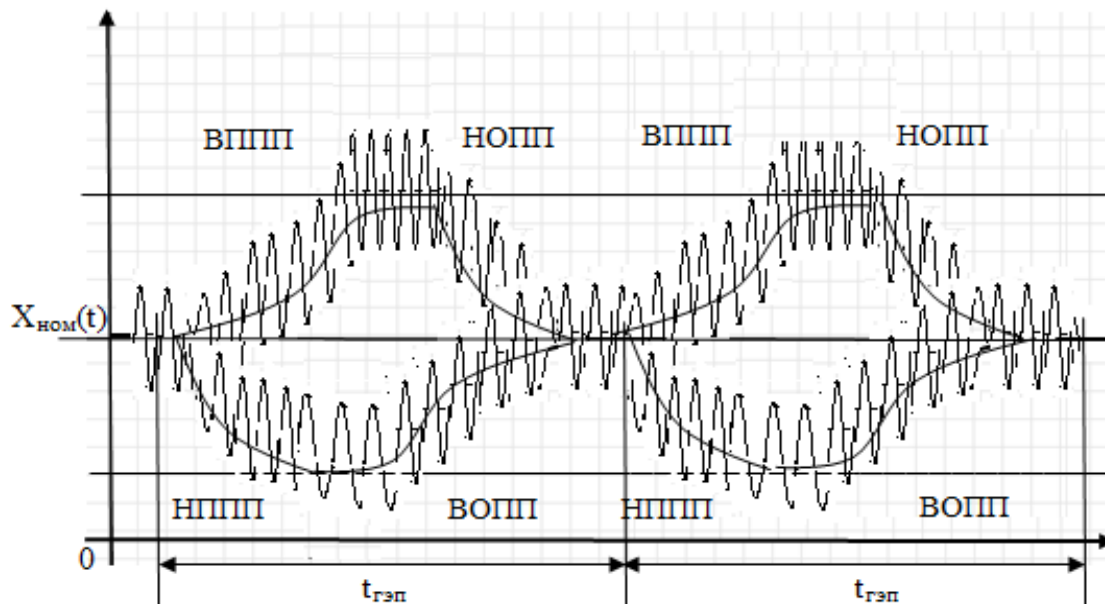


Рисунок 2 - Циклы управления процессом формирования возможных девиационных траекторий при поочередном объезде двух последовательно расположенных на пути следования БТС препятствий при перемещении БТС по начальному и конечному участкам ЛДТ (НППП – ВОПП) и ПДТ (ВППП – НОПП)

Ось ординат – ось сигнала $x(t)$, инициирующего формирование ДТ БТС.

На рисунке 3 отдельно представлены выделенные из графиков рисунка 2 осциллограммы ВОПП и НОПП (т. е. восстанавливающих НОТ), соответствующие конечным участкам левой и правой ДТ.

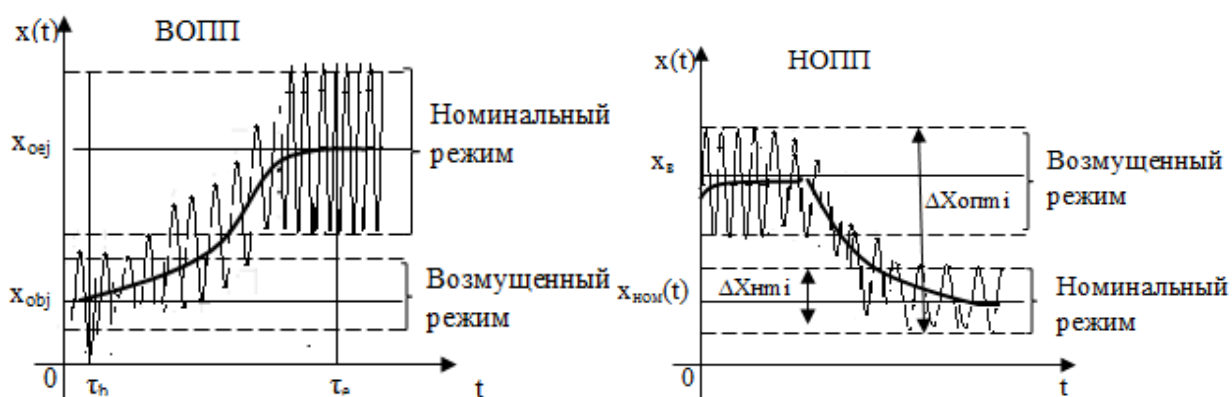
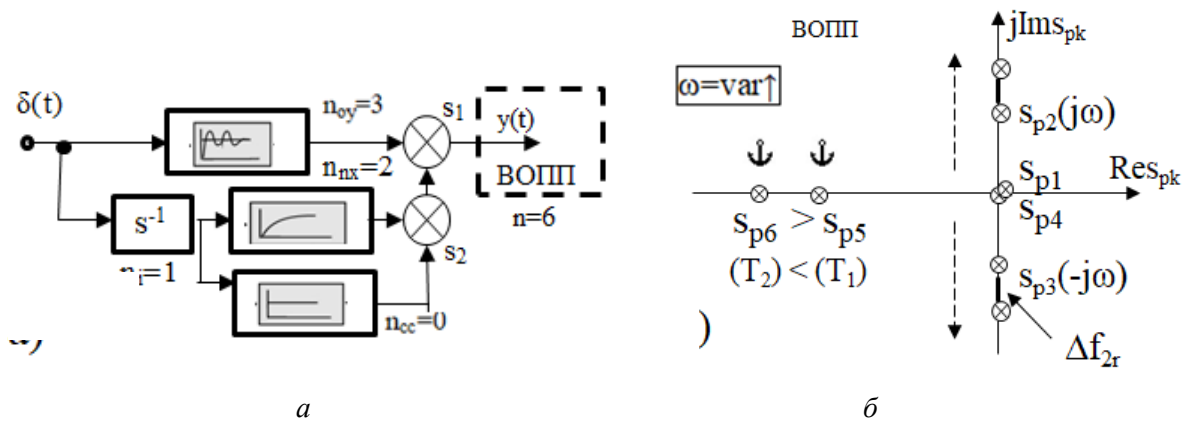


Рисунок 3 - Траекторные сигналы модального управления процессами формирования левой (ВОПП) и правой (НОПП) девиационных траекторий БТС

На рисунке 2 схематично отображены четыре возможных варианта поочередного объезда двух последовательно расположенных препятствий на пути движения рассматриваемого БТС, по различным девиационным траекториям (по левой – ЛДТ или правой – ПДТ): варианты представлены в виде чередующихся переходных процессов, генерируе-

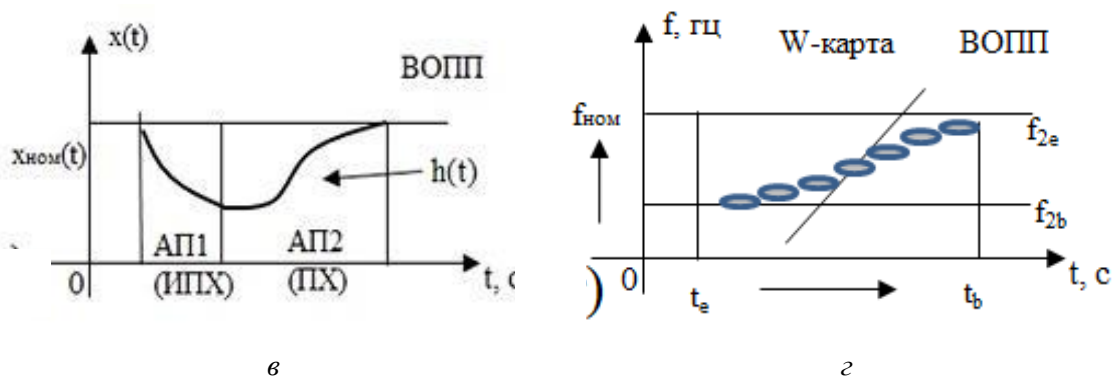
мых системой управления: вариант НППП – ВОПП соответствует объезду препятствия по ЛДТ (нижняя часть осциллограмм), вариант ВППП – НОПП – объезду по ПДТ (верхняя часть осциллограмм). Таким образом, возможные варианты объезда препятствий таковы: слева – слева, слева – справа, справа – справа, справа – слева. При этом сценарии объезда препятствий обусловлены характером их расположения на пути следования БТС, а также их геометрическими размерами. Интервал $t_{гэп}$ представляет собой время, спустя которое спорадически может возникнуть новое внешнее возмущение, откликом на которое является новая формируемая ДТ. Иными словами, это время формирования системой управления сигнала ДТ, по окончании которого восстанавливается движение БТС по НОТ.

В качестве примера, на рисунке 4 приведены в совмещенной форме структурная схема (а), графики локализации полюсов (б) объекта управления и аperiodических компонент (в) траекторного сигнала при левой ДТ, а также время-частотная вейвлет-карта [2, 6, 7] сигнала, формирующего конечный участок ЛДТ и соответствующего процессу ВОПП, где ω – варьируемая угловая частота chirp-сигнала дозирования; t_b и t_e – моменты начала и окончания принудительно-модального нестационарного процесса формирования левой девиационной траектории БТС. В качестве вейвлет-карты на рисунке 4 з представлено так называемое квадратичное время-частотное распределение класса Коэна [6, 7] в виде распределения Вигнера – Вилле [2, 8, 9].



а – фрагмент алгоритма модального управления процессом формирования ТТ в виде структурной схемы; б – схема принудительного варианта локализации фиксируемых полюсов s_{p4}, s_{p5}, s_{p6} , определяющих инерционность ПП, и непрерывно-варьируемой релокализации мнимых полюсов s_{p2}, s_{p3} , формирующих частотный характер ВОПП (его chirp-форму);

Рисунок 4 - Схемы, поясняющие структурно-параметрическую нестационарность объекта управления при модальном формировании левой девиационной ТТ БТС



в – изменение аperiodической составляющей сигнала нестационарного ПП формирования ТТ; з – вейвлет-карта chirp-сигнала ВОПП

Рисунок 5 - Схемы, поясняющие структурно-параметрическую нестационарность объекта управления при модальном формировании левой девиационной ТТ БТС

При этом двухэкспоненциальную кривую, характеризующую конфигурацию текущей траектории БТС, следует рассматривать, с одной стороны, как зависимость метрического отклонения $d(t)$ БТС от НОТ, с другой стороны, – как функцию мгновенной частоты траекторного chirp-сигнала $f(t)$. На основе этой информации, используя графоаналитический подход, достаточно просто определить тарировочные характеристики $d(f)$ – «метрическое отклонение девиационной траектории от номинальной осевой – мгновенная частота траекторного chirp-сигнала» текущих траекторий БТС двух типов:

– «мгновенная падающая частота траекторного chirp-сигнала – девиация ТТ БТС влево относительно НОТ»;

– «мгновенная возрастающая частота траекторного chirp-сигнала – девиация ТТ БТС вправо относительно НОТ».

Заметим, что для первой характеристики с левой девиационной ТТ изменение частоты f и девиации d происходит асинхронно (т.е. при падающей частоте девиация возрастает), а для второй характеристики с правым отклонением ТТ от НОТ – синхронно. По тарировочным характеристикам, введенным в программно-аппаратный комплекс системы управления, последняя по получаемым вейвлет-картам текущих траекторий БТС определяет мгновенную величину геометрического отклонения ТТ от НОТ, что позволяет на метрическом уровне контролировать ТТ перемещения БТС по карьерным маршрутам.

Заключение

В представленном исследовании описаны процедуры формирования и обработки сигналов программно-аппаратным комплексом автоматизированной системы управления текущими траекториями перемещения карьерных беспилотных транспортных средств. Рассмотренные процедуры позволяют осуществлять online-мониторинг и эффективное управление динамикой оперативного и безопасного траекторного перемещения БТС по технологическим маршрутам карьера в условиях открытых горных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-20 19-034 от 22.11.2019 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе “Умный карьер”», при участии Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Библиографический список

1. Чичерин, И. В., Федосенков, Б. А., Сыркин, И. С., Садовец, В. Ю., Дубинкин, Д. М. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ // Изв. вузов. Горный журнал. 2020. № 8. – С. 109–121.
2. Mallat, S. A wavelet tour of signal processing. New York: Academic Press (2nd Ed.), Ecole Polytechnique, Paris; Courant Institute, New York University, Library of Congress Catalog Card Number: 99-65087, 1999; Reprinted 2001. – 637 p.
3. Федосенков, Б. А. Теория автоматического управления. Классические и современные разделы: учеб. пособие. Кемерово: Изд-во КемГУ, 2018. – 322 с.
4. Гудвин, Г. К., Гребе, С. Ф., Сальгадо, М. Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
5. Симикина, А. А., Федосенков, Б. А., Федосенков, Д. Б. Модальное управление процессами дозирования в среде пространства состояний и вейвлет-преобразований // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. – С. 46–58.

6. Auger, F., Chassande-Mottin, E. Quadratic time-frequency analysis I: Cohen's class, Time-frequency analysis: concepts and methods // ISTE. 2008. January. – P. 131–163.

7. Fedosenkov, D. B., Simikova, A. A., Kulakov, S. M., Fedosenkov, B. A. Cohen's class time-frequency distributions for measurement signals as a means of monitoring technological processes // Steel in Translation. 2019. V. 49. N. 4. – P. 252–256.

8. Федосенков Б.А., Федосенков, Д.Б. Автоматизированное управление технологическими процессами в вейвлет-среде: моногр. Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2021. – 161 с.

9. Debnath, L. Recent development in the Wigner-Ville distribution and time-frequency signal analysis // Proceedings of the Indian National Science Academy (PINSIA), January 2002. 68A:1. – P. 35–56.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЕЦЕДЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДСТОЯЩЕЙ ПЛАВКОЙ СТАЛИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

Кулаков С.М., Койнов Р.С., Тараборина Е.Н., Квашнин К.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрена актуальная задача человеко-машинного управления сложными технологическими агрегатами и комплексами, которые характеризуются большим разнообразием состояний, многомерностью, изменчивостью, неопределенностью. К числу таких агрегатов в чёрной металлургии относятся: коксовые батареи, доменные печи, сталеплавильные агрегаты (дуговые печи, кислородные конвертеры), литейно-прокатные комплексы, прокатные станы, основные цехи и производства. Показана недостаточная для 21-го века эффективность модельного подхода к созданию систем управления такими объектами. Рассмотрены альтернативные подходы, основанные на концепции лучших практик. В частности, к ним относятся натурно-модельный и натурный подходы к разработке систем поддержки и принятия управляющих решений. Представлены известные натурно-модельные процедуры применения лучших практик, такие как: метод типопредставительных ситуаций, метод образцовых технологических циклов. Предложен новый, для систем управления технологическими процессами, (прецедентный) метод автоматизированного выбора и реализации управляющих воздействий с участием операторов-технологов. Разработан модифицированный прецедентный цикл (СВР-цикл) выбора управлений и соответствующая функциональная схема системы программного управления технологическим агрегатом циклического действия. Усовершенствованный прецедентный СВР-цикл включает следующие дополнительные операции: коррекция управляющих решений для отобранных прецедентов; ретроспективная оптимизация реализованных управляющих решений; сохранение не только лучших и оптимизированных, но и ошибочных решений; актуализация базы прецедентов; формирование решений в уникальных или ранее не зафиксированных ситуациях. Сформирована структура информационной модели прецедента на примере программного управления плавкой стали в условиях кислородно-конвертерного цеха. Она включает три раздела: данные о конкретной ситуации в системе управления, параметры выбранных управляющих воздействий, полученные результаты плавки стали. Разработан пример формирования программы управления процессом подготовки и выполнения предстоящей плавкой стали, на основе данных предварительно выбранной плавки-прецедента, в условиях современного кислородно-конвертерного цеха.

Ключевые слова: автоматизированное управление, сложные технологические объекты, модельный подход, натурно-модельный подход, типопредставительные ситуации, метод прецедентов, СВР-цикл принятия решений, функциональная структура системы прецедентного управления, информационная модель прецедента, плавка стали в кислородном конвертере, программа управления предстоящей плавкой, коррекция прецедентных управляющих решений.

Abstract. The actual problem of man-machine control of complex technological units and complexes, which are characterized by a wide variety of states, multidimensionality, variability, uncertainty, is considered. Such units in the ferrous metallurgy include: coke oven batteries, blast furnaces, steel-making units (arc furnaces, oxygen converters), casting and rolling complexes, rolling mills, main shops and production facilities. The efficiency of the model

approach to the creation of control systems for such objects is shown to be insufficient for the 21st century. Alternative approaches based on the concept of best practices are considered. In particular, these include natural-model and full-scale approaches to the development of support systems and making control decisions. The well-known natural-model procedures for applying the best practices are presented, such as: the method of typical representative situations, the method of exemplary technological cycles. A new (precedent) method for automated selection and implementation of control actions with the participation of process operators is proposed. A modified precedent cycle (CBR-cycle) for the selection of controls and the corresponding functional diagram of the programmed control system for a technological unit of cyclic action have been developed. The improved CBR case cycle includes the following additional operations: correction of control decisions for selected cases; retrospective optimization of implemented management solutions; saving not only the best and optimized, but also erroneous decisions; updating the base of precedents; formation of solutions in unique or previously unrecorded situations. The structure of the information model of the precedent is formed on the example of programmed control of steel melting in the conditions of the oxygen-converter shop. It includes three sections: data on a specific situation in the control system, parameters of the selected control actions, and the obtained results of steel melting. An example of the formation of a control program for the process of preparation and execution of the forthcoming melting steel, based on the data of the preselected melting-precedent, in the conditions of a modern oxygen-converter shop has been developed.

Keywords: *automated control, complex technological objects, model approach, natural-model approach, typical situations, precedent method, CBR decision-making cycle, functional structure of the precedent management system, information model of the precedent, steel melting in an oxygen converter, control program for the upcoming melting, correction of precedent control decisions.*

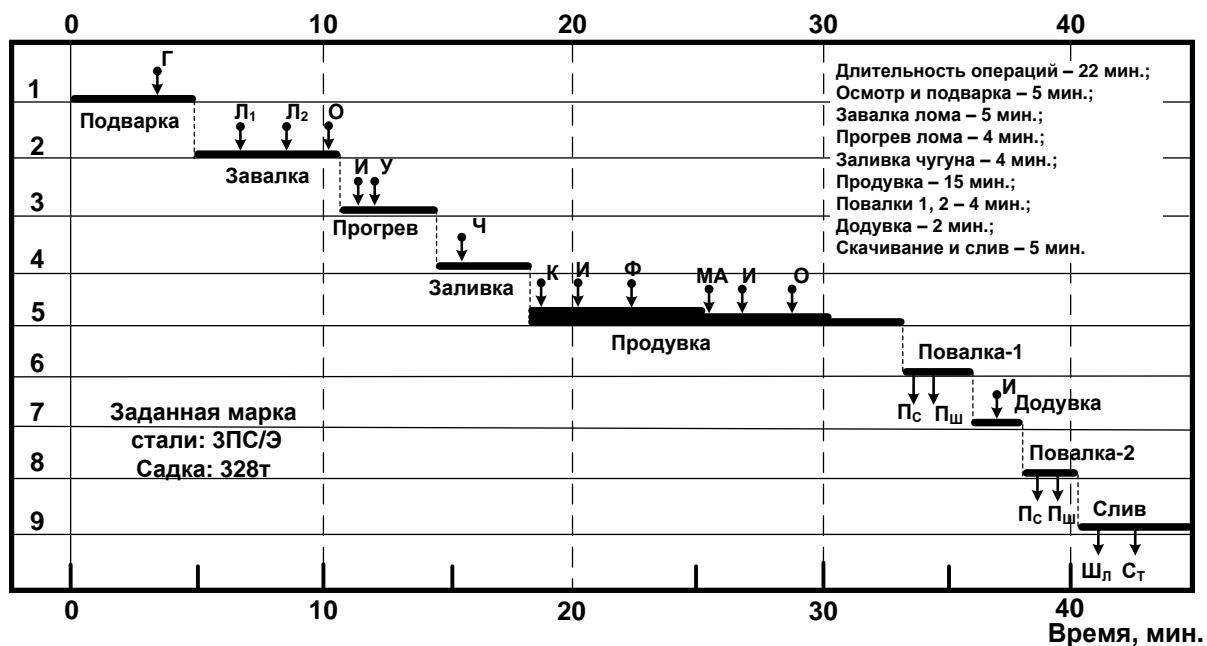
Введение

Программа управления предстоящей конвертерной плавкой стали представляет собой расписание работ (операций, действий), необходимых для осуществления процесса изготовления процесса изготовления в кислородном конвертере заданного количества (массы) жидкого стального расплава, химический состав и температура которого позволяют в дальнейшем, в установке внепечной обработки стали (УВОС) и (или) агрегате «ковш-печь» (АКП), получить требуемую марку стали. В программе должны быть указаны: заданная марка стали, необходимое содержание С, S, P в расплаве и его температура, наименования работ (операций), используемые материалы и их количества, предписанная (нормативная) продолжительность и распределение работ во времени, ситуационные изменения (корректировки) фрагментов программы в процессе ее реализации.

Исходными данными для разработки программы являются: дата и номер предстоящей плавки, задание на марку стали и массу стального расплава, химсостав и температура жидкого чугуна, химсостав металлолома, заданный химсостав и температура расплава, требуемая основность шлака, параметры шлакообразующих, легирующих, углеродсодержащих, охлаждающих, раскисляющих твердых материалов, а также кислорода и азота.

Ввиду сложности технологического процесса, неполноты информации о параметрах лома, сыпучих материалов, наличия рисков отказа оборудования и удлинения межплавочных (подготовительных) перерывов, невыполнения задания по содержанию С, S, P и температуре расплава, а также основности шлака на момент повалки конвертера, программа управления выплавкой стали (ПУВС) должна содержать резервные фрагменты, учитывающие изменения по ходу плавки. В связи с этим целесообразно синтезировать основную (базовую) программу, состоящую из подпрограмм реализации работ (операций), которые соответствуют прогнозируемым условиям, и дополнить её резервными (ситуационными) подпрограммами, учитывающими возможные отклонения, появляющиеся в ходе реализации основной программы. Таким образом, программа управления плавкой должна быть многоструктурной (ситуационно-корректируемой).

Далее рассмотрим задачу построения программы управления производственным процессом выплавки стали, в её основном (наиболее надёжном) варианте, не затрагивая при этом задачу формирования ситуационных (корректирующих) подпрограмм. Структура основной программы укрупненно может быть представлена в виде известной диаграммы Генри Ганта, пример которой, построенный применительно к производственному процессу выплавки стали в кислородно-конвертерном цехе, показан на рисунке 1.



Обозначения: Г – гарнисаж; Л₁ – лом-легковес; Л₂ – лом-тяжеловес; О – окалина; И – известь; У – уголь; Ч – чугун жидкий; К – кокс; Ф – флюс; МА – марганцевый агломерат; П_с, П_ш – пробы стали и шлака; Ш – шлак; С_т – сталь; 1,2,3,...,9 – номера основных и вспомогательных операций, выполняемых сменной бригадой конвертерного цеха

Рисунок 1 – Пример программы операций ведения плавки стали в кислородном конвертере

1. Модифицированный СВР-цикл принятия управляющих решений

Концептуальной основой для создания прецедентных систем управления сложными технологическими или человеко-техническими комплексами является так называемый СВР-цикл принятия решений (Case-Based-Reasoning) [1], включающий 4 главных этапа:

- *извлечение* из базы знаний прецедента - известного случая принятия решения, исходные условия (ситуация) которого в максимальной степени соответствуют новой ситуации, для которой необходимо принять новое решение;
- *повторное использование* извлеченного прецедента, включая решение, которое в нем содержится;
- *коррекция прецедентного решения*, если это необходимо в связи с неполным совпадением прецедентной и текущей ситуации;
- *сохранение* в базе знаний вновь принятого решения как составной части нового прецедента.

Использование названной концепции применительно к эргатическим системам управления сложными техническими и организационными объектами, в которых осуществляется регулярно повторяющийся процесс принятия и реализации управляющих решений (в виде изменения расхода энергоносителей, режимных параметров агрегатов или в виде нормативов, заданий, расписаний, календарных планов), требует существенно переосмысления сущности известной модели СВР-цикла, её углубленной проработки и детализации, а также решения дополнительных исследовательских задач. Прежде всего необходимо модифицировать и конкретизировать структуру прецедентного цикла принятия решений с учётом специфики систем управления сложными объектами. В нашем случае такими объектами являются подразделения кислородно-конвертерного цеха. Эти вопросы частично рассмотрены в публикациях, предшествующих конференции [2,3,4].

Современное представление СВР-цикла в эргатических системах управления показано на рисунке 2.

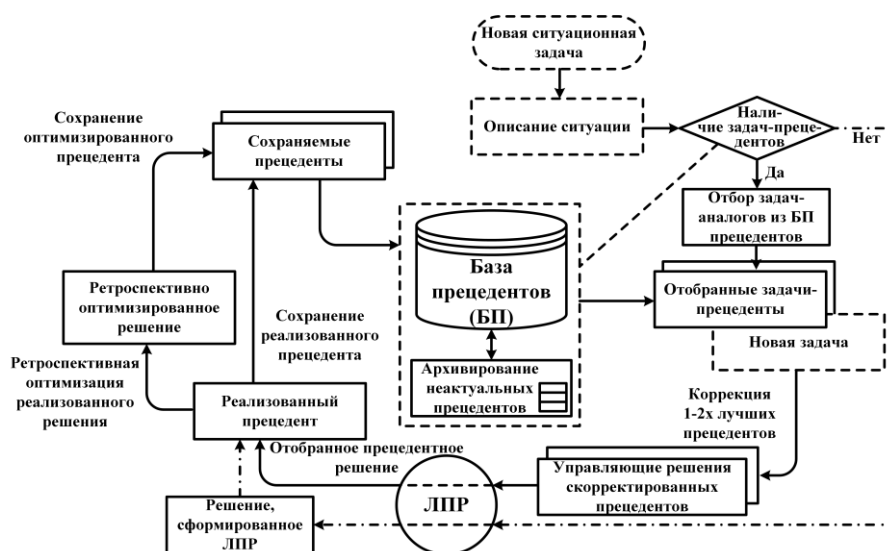


Рисунок 2 – Модифицированный цикл выработки и реализации управляющих решений применительно к системе управления сложным технологическим объектом

Оно отличается от классического СВР-цикла следующими компонентами:

- наличием в цикле выработки и реализации управлений лица, принимающего решения (ЛПР), которое позволяет не только отбирать оптимальные (из числа хранящихся в базе знаний прецедентов), но и формировать оригинальные решения для уникальных и редко встречающихся ситуаций;
- использованием алгоритмов автоматического поиска одного-двух оптимальных прецедентов, а также алгоритмов коррекции этих прецедентов с учётом обнаруженных отличий новой и прецедентных ситуаций в системе управления;
- применением алгоритма ретроспективной оптимизации фактически реализованных управляющих решений (перед их размещением в базе прецедентов) в тех случаях, когда в решениях (post factum) обнаруживаются дефекты, недостатки;
- наличием подсистемы актуализации базы прецедентов, путём архивирования и удаления устаревших прецедентов, при их чрезмерном накоплении;
- применением технологических и экономических показателей при формализации и алгоритмизации задачи отбора оптимальных прецедентов, в частности при разработке критериев оптимальности и ограничений.

2. Информационная модель прецедента и функциональная схема программного управления плавкой стали в кислородно-конвертерном цехе

Для решения задач, предусмотренных модифицированным СВР-циклом, применительно к управлению производственным процессом выплавки стали, необходимо построить информационную модель прецедента, под которым будем понимать выполненный комплекс работ (действий персонала сталеплавильного цеха), результатом выполнения которого являются основные и побочные продукты с требуемыми характеристиками. Информационная модель названного комплекса работ должна включать 3 раздела:

- информационную модель (базу данных) – 1, характеризующую ситуацию в системе управления производством работ, сложившуюся на момент принятия решения, т.е. построения программы подготовки и ведения работ для предстоящей плавки стали;
- информационную модель (базу данных) – 2, включающую данные о планируемых управляющих воздействиях, которые должны быть реализованы в процессе выполнения комплекса работ;
- информационную модель (базу данных) – 3, содержащую сведения о полученных результатах работ, т.е. данные о количестве и параметрах основной и побочной продукции, а также о достигнутых технико-экономических показателях.

На рисунке 3 приведены основные элементы информационной модели комплекса

работ, связанного с подготовкой и ведением плавки стали в кислородном конвертере.

Соответствующая рисункам 2, 3 функциональная структура системы прецедентного управления показана на рисунке 4.

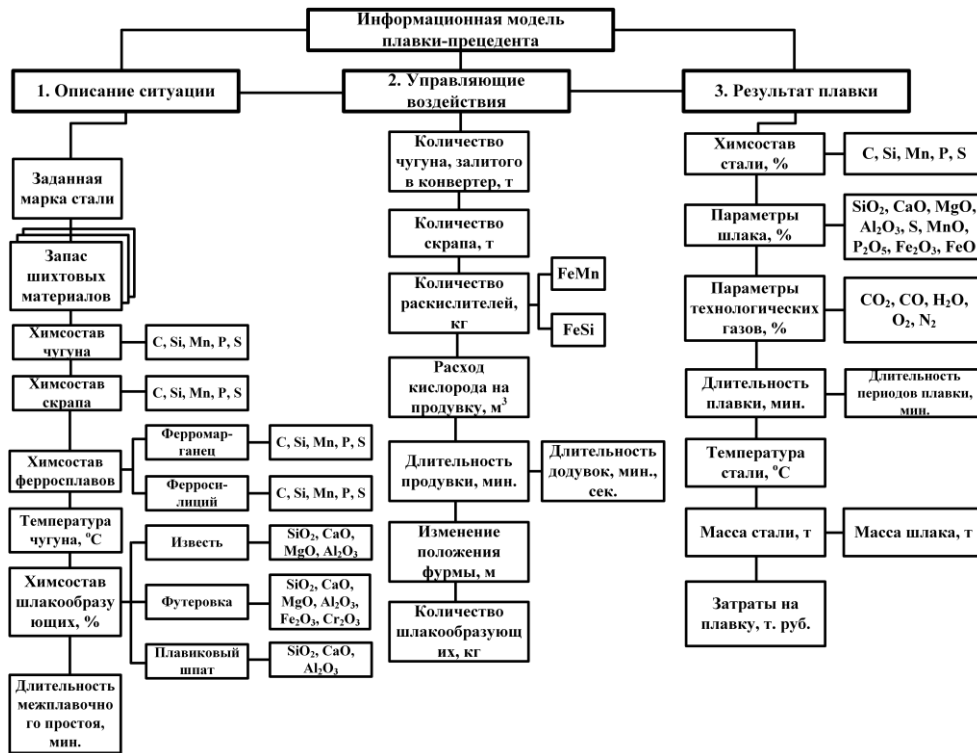
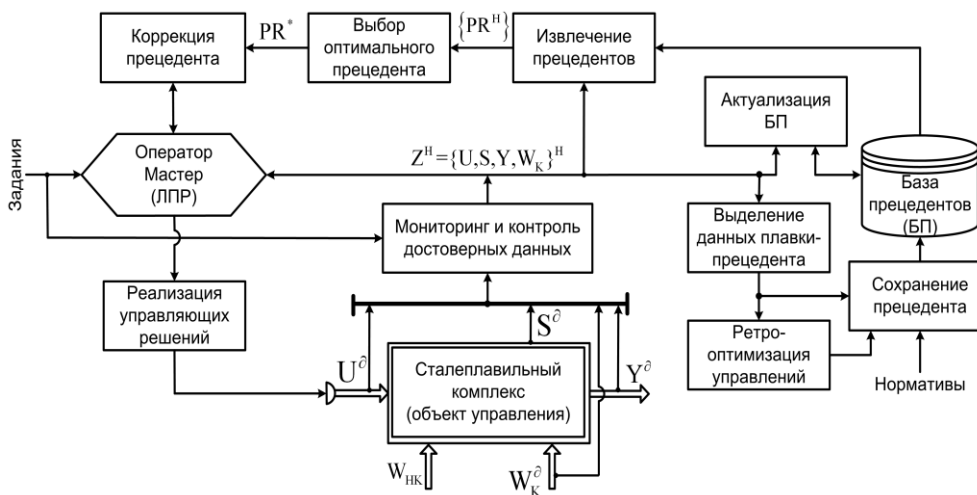


Рисунок 3 – Основные компоненты информационной модели прецедента



Обозначения: Y^δ , S^δ , U^δ , W_{HK}^δ , W_K^δ – действительные векторы выходных воздействий, параметров состояния комплекса, управляющих воздействий, неконтролируемых (нк) и контролируемых (к) внешних воздействий соответственно; $Z^H = \{U, S, Y, W_K\}^H$ – натурные цифровые данные об управлениях, состояниях, выходах, контролируемых воздействиях; $\{PR^H\}$ – натурные данные о плавках-прецедентах; PR^* – оптимальный прецедент

Рисунок 4 – Укрупненная функциональная структура системы прецедентного управления плавкой стали

Представленная система должна быть интегрирована с действующей АСУТП выплавки стали в кислородном конвертере. Цифровые данные о ситуации в системе управления, о реализованных управляющих воздействиях и результатах конкретной плавки стали формируются подсистемой мониторинга и передаются в подсистему формирования паспорта плавки и базу прецедентов. Операции выбора и коррекции оптимального прецедента для предстоящей плавки стали выполняются при участии мастера конвертера и машиниста дистрибьютера. Затраты их рабочего времени на выполнение данной функции занимают не более 3^х-5^{ти} минут, т.к. первичные данные для этих задач формируются автоматически в режиме реального времени и варианты принимаемого решения отображаются в форме советов (рекомендаций).

3. Пример построения прецедентной программы подготовки и ведения плавки стали в кислородном конвертере

В таблице 1 показан пример построения программы управления предстоящей плавкой стали на основе данных информационной модели выбранной плавки-прецедента.

Таблица 1 - Пример определения параметров программы шихтовки и ведения плавки стали в кислородном конвертере

п/п	Наименование параметра плавки стали	Номер плавки	Дата плавки	Номер конвертера	Заданная марка стали	Код способа разлива стали	Межплавочный простой [час:мин:сек]			
1	Плавка-прецедент	...568	15.09.18	4	Ст3пс/э	0	0:09:59			
2	Данные предстоящей плавки стали	...584	16.09.18	4	Ст3пс/э	0	0:26:56			
п/п	Параметры жидкого чугуна						Параметры лома			
	Вес чугуна, т.	Температура, °С	Si, %	Mn, %	S, %	P, %	Вес лома, т.	Количество совков	Масса лома 1-го сорта, т.	Масса лома 2-го сорта, т.
1	255,1	1338	0,28	0,38	0,055	0,07	93	2	42,4	50,6
2	План	1377	0,45	0,41	0,02	0,069	Программа			
	Факт						Факт			
	255						93	2	42,4	50,6
	256,4						94,8	2	57	37
п/п	Длительность нагрева [час:мин:сек]	Расход O ² на нагрев, м ³	Расход угля, т.	Длительность продувки [час:мин:сек]	Длительность додувки [час:мин:сек]	Расход на продувку, м ³	Расход извести, т.	Расход известняка, т.	Расход флюса, т.	
1	00:06:51	2386	3,08	00:20:15*	00:00*	17265	11,52	0,53	4,07	
2	Программа / Факт									
	10:37*	3702*	4,8*	20:15	00:00	17265	11,52	0,53	4,07	
	06:17	2200	3,08	18:18	01:44	17443	14,11	0	4,11	

Продолжение таблицы 1

п/п	Расход флюса ФМ, т	Данные на повалке						Содержание FeO, %
		Основность шлака	Расход O ² на плавку м ³	Содержание Al ₂ O ₃ , %	Содержание С, %	Содержание СаО, %	Содержание MgO, %	
1	0,99	2,51	19651	1,79	0,039	26,4	11,3	43,1
2	Программа / Факт							
	0,99	2,51	19651	1,79	0,039	26,4	11,3	43,1
	0,99	2,3	19643	2,58	0,048	26	8,2	42,6

п/п	Данные на повалке									
	Содержание P, %	Содержание Mn, %	Содержание MnO, %	Содержание P ₂ O ₅	Содержание S, %	Содержание SiO ₂ , %	Содержание TiO ₂ , %	Содержание V ₂ O ₅ , %	Температура, °С	Длительность плавки, [час:мин:сек]
1	0,006	0,064	4,62	1,08	0,043	10,5	0,56	0,86	1627	0:46:38
2	Программа / Факт									
	0,006	0,064	4,62	1,08	0,043	10,5	0,56	0,86	1627	49:24*
	0,004	0,045	4,68	0,99	0,034	11,3	0,9	1,12	1586	46:38

В строке 1 таблицы 1 представлены данные плавки-прецедента, которая по времени выполнения отстоит от предстоящей плавки менее чем на сутки и совпадает с ней по заданной марке стали. В строке 2 показаны фактические данные о химсоставе чугуна, длительности межплавочного простоя предстоящей плавки, а также планируемые (на базе прецедента) параметры. Для сравнения, в этой же строке, приведены фактические значения параметров шихтовки и ведения плавки технологами цеха, которые не имели возможности учитывать рекомендуемую программу управления данной плавкой. Вследствие последнего фактически реализованная программа ведения плавки имеет следующие недостатки:

- плавка №...584 проведена с додувкой продолжительностью 1 мин. 44 сек.;
- температура металла по окончании плавки (1536 °С) была существенно ниже нормы, которая должна быть не менее 1600 °С;
- основность шлака (2,3) была существенно ниже нормы, равной 2,5.

При формировании программы на основе плавки-прецедента некоторые параметры прецедента были скорректированы с учетом исключения додувки (длительностью 1 мин. 7 сек.) и компенсации значительного межплавочного простоя (продолжительностью 26 мин. 56 сек.). Измененные значения параметров отмечены в строках 1,2 звездочкой.

Длительность продувки $T_{\text{пд}}$ и расход кислорода $V(O_2)_{\text{пд}}$ на продувку корректировались с учетом продолжительности додувки $T_{\text{дд}}$ и расхода кислорода $V(O_2)_{\text{дд}}$ на додувку.

$$T_{\text{пд}}^* = T_{\text{пд}} + T_{\text{дд}}; V^*(O_2) = V(O_2)_{\text{пд}} + V(O_2)_{\text{дд}}, \quad (1)$$

Расход угля G_Y и кислорода $V(O_2)_{\text{пг}}$ на подогрев металлолома (для компенсации межплавочного простоя $\tau_{\text{мп}}$ конвертера) корректировались следующим образом:

$$G_Y^* = \begin{cases} \left[G_Y \times \frac{\tau_{\text{мп}}^{\text{пр}}}{\tau_{\text{мп}}} \right], & \text{если } [\cdot] \leq G_Y^{\text{MAX}}, \\ G_Y^{\text{MAX}}, & \text{если } [\cdot] > G_Y^{\text{MAX}}, \end{cases} \quad (2)$$

$$V^*(O_2)_{\text{пд}} = V(O_2)_{\text{пд}} \frac{G_Y^*}{G_Y}, \quad (3)$$

$$T_{\text{пг}}^* = T_{\text{пг}} \frac{V^*(O_2)}{V(O_2)}, \quad (4)$$

где G_Y^* , $V^*(O_2)_{\text{пд}}$, $T_{\text{пг}}^*$ – скорректированные расход угля, кислорода и длительность подогрева металлолома;

$\tau_{\text{мп}}^{\text{пр}}$, $\tau_{\text{мп}}$ - длительность межплавочного простоя для предстоящей и precedentной плавки соответственно; G_Y ,

G_Y^{MAX} – precedentный и максимально допустимый $G_Y^{\text{max}} = 4,8\text{т}$ расход угля на подогрев.

Длительность плавки в целом $T_{\text{пл}}$ скорректирована с учетом увеличения precedentной длительности $T_{\text{пг}}$ подогрева металлолома:

$$T_{\text{пл}}^* = T_{\text{пл}} + (T_{\text{пг}}^* - T_{\text{пг}}) \quad (5)$$

Моделирование алгоритма выбора оптимального precedentа и его коррекции (при наличии дефектов) показало, что затраты времени на его реализацию (при взаимодействии с мастером и оператором дистрибутора) на современных компьютерах не превышают 3-5 минут. Первичные данные для решения задачи построения программы управления предстоящей плавкой стали формируются по ходу выполнения текущей плавки в режиме реального времени. В этот же период решаются задачи поиска лучших плавко-precedентов и шихтовки предстоящей плавки. Полностью формирование новой программы управления заканчивается во время завершения (выпуска) текущей плавки и оценки состояния конвертера.

Эффективность вышеизложенного подхода к управлению процессом выплавки стали в кислородном конвертере обеспечивается реализацией идеи непрерывного улучшения управлений, когда новое управляющее решение формируется на основе ситуационно выбранного наилучшего из ранее реализованных аналогичных решений-precedентов. При этом важное значение имеет подбор метрик качества precedentов. В частности, весьма полезно при управлении процессом выплавки стали включить в информационную модель precedentа показатель – затраты на выполнение конкретной плавки.

Выводы

Выполнен анализ известных подходов и методов управления сложными металлургическими агрегатами. Изложена идея нового (по отношению к системам управления сложными агрегатами и комплексами) precedentного метода online-накопления и использования опыта принятия управляющих решений в эргатических (человеко-машинных) системах управления. Разработан модифицированный цикл выработки и реализации управляющих решений и соответствующая ему функциональная схема системы управления агрегатами циклического действия. Применительно к управлению плавкой стали в

конвертере представлены основные компоненты информационной модели прецедента и пример формирования программы управления предстоящей плавкой на основе данных прецедентной плавки. Отмечена более высокая эффективность управления предстоящей плавкой стали на основе прецедента.

Библиографический список

1. 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 / 2013, Number 4. – с. 385-392.

2. Прецедентный подход к формированию программ управления объектами циклического действия / С. М. Кулаков, В. Б. Трофимов, А. С. Добрынин, Е. Н. Тараборина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS`2017 : труды XI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 14-16 декабря 2017 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – С. 11–19. – Библиогр.: с. 19 (18 назв.).

3. 5 Кулаков, С. М. Метод прецедентов в системах управления сложными технологическими объектами / С. М. Кулаков, М. В. Ляховец, Р. С. Койнов // Труды XIII Всероссийского совещания по проблемам управления. ВСПУ-2019, Москва, 17–20 июня 2019 г. – Москва, 2019. – 6 с.

4. Системы управления сложными технологическими объектами с накоплением опыта выработки управляющих воздействий / С. М. Кулаков, М. В. Ляховец, Р. С. Койнов, Е. Н. Тараборина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS`2019 : труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2019. – С. 9-16. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

СЕКЦИЯ 1
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ



ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В ЦЕПИ РОТОРА

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Маршев Д.А., Поползин И.Ю.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, nii aer@kuz.ru

Аннотация. Включение в цепь ротора асинхронного двигателя с фазным ротором управляемого преобразователя напряжения является перспективным способом проектирования и модернизации таких электроприводов. В работе рассмотрен вопрос создания структуры электропривода переменного тока пригодной для анализа, синтеза и настройки систем автоматического управления электроприводами с асинхронным двигателем с фазным ротором, а так же решения задачи суммирования напряжений ротора и источника напряжения, имеющих различную частоту.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый преобразователь напряжения, структурная схема, схема замещения, суммирование ЭДС.

Abstract. The inclusion of a controlled voltage converter in the rotor circuit of an induction motor with a wound rotor is a promising way to modernize electric drives. The paper considers the issue of creating an alternating current structure suitable for analysis, synthesis and tuning of automatic control systems, as well as solving the problem of synchronizing the parameters of the converter with the motor rotor circuit.

Keywords: induction motor with a wound rotor, controlled voltage converter, block diagram, equivalent circuit, EMF summation.

Включение в цепь ротора асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР) управляемого преобразователя напряжения (УПН) является перспективным способом модернизации электроприводов с АДФР [1]. При этом при построении систем автоматизированного электропривода для выбора преобразователя и сетевого трансформатора в роторной цепи, обоснования и расчета их параметров необходимо составить математическую модель объекта управления, к которому относится АДФР, и привести её к виду, удобному для анализа и синтеза САУ.

В научно-технической литературе рассматривается вопрос исследования электро-механических и механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором, однако, как правило, без УПН в роторе. Например, в [2-4] дан анализ указанных характеристик, но без преобразователя в цепи ротора. В [5-6] рассмотрен вопрос включения УПН в цепь ротора, но не описано, как суммируются ЭДС с разной частотой.

По этой причине необходимо выполнить подробный функциональный анализ условий включения в цепь ротора УПН. На основе этого анализа необходимо:

1. Предложить и обосновать способ включения УПН в цепь ротора для возможности суммирования ЭДС ротора и выходного напряжения УПН.
2. Получить структуру, позволяющую не только исследовать механические и электромеханические характеристики АДФР с управляемым источником напряжения в роторе, но и реализовать оптимальные системы автоматического управления.

Для осуществления указанного анализа рассмотрим схему замещения заторможенного АДФР с УПН в цепи ротора (рисунок 1).

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

\dot{U}_1 - комплексное значение напряжения на статоре; \dot{E}_1 - комплексное значение ЭДС статора; \dot{E}'_2 - комплексное значение приведенной ЭДС ротора; \dot{I}_1 - комплексное значение тока статора; \dot{I}_0 - комплексное значение тока холостого хода; \dot{I}_μ - комплексное значение тока намагничивания; \dot{I}'_2 - комплексное значение приведенного тока ротора; \dot{E}_3 - комплексное значение ЭДС преобразователя; r_1 - активное сопротивление статора; X_1 - ин-

дуктивное сопротивление статора; R_μ - активное сопротивление намагничивающей ветви; X_μ - индуктивное сопротивление намагничивающей ветви; r'_2 - собственное активное сопротивление ротора; X'_2 - собственное индуктивное сопротивление ротора; \dot{E}_3 - комплексное значение приведенной ЭДС преобразователя; R_3 - активное сопротивление преобразователя; X_3 - индуктивное сопротивление преобразователя; \dot{U}_2 - комплексное значение напряжения на роторе.

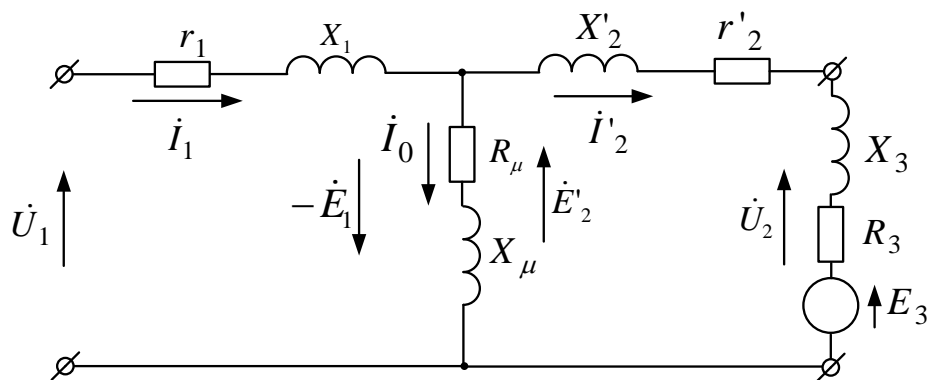


Рисунок 1 – Схема замещения заторможенного АДФР с УПН

Коэффициент трансформации ЭДС определится как:

$$k_E = \frac{E_1}{E_{2н}} = \frac{w_1 k_{o\delta 1}}{w_2 k_{o\delta 2}},$$

где E_1 – ЭДС статора;

$E_{2н}$ – ЭДС неподвижного ротора;

w_1, w_2 – число витков в обмотках статора и ротора соответственно;

$k_{o\delta 1}, k_{o\delta 2}$ – обмоточные коэффициенты статора и ротора соответственно.

Коэффициент приведения сопротивлений (коэффициент трансформации АДФР) определяется как:

$$k_T = k_E k_I,$$

где k_I – коэффициент трансформации АДФР по току,

$$k_I = \frac{I_1}{I_{2к}} = \frac{m_1 w_1 k_{o\delta 1}}{m_2 w_2 k_{o\delta 2}} \quad (I_{2к} - \text{ток короткого замыкания машины}).$$

В большинстве случаев число фаз обмотки статора m_1 равно числу фаз обмотки ротора m_2 , в этом случае $k_E = k_I$, и тогда:

$$k_T = k_E^2 = \left(\frac{w_1 k_{o\delta 1}}{w_2 k_{o\delta 2}} \right)^2.$$

Приведенные сопротивления в цепи ротора определяются как:

$$R'_2 = R_2 k_T = R_2 k_E^2,$$

$$X'_2 = X_2 k_T = X_2 k_E^2,$$

$$R'_{II} = R_{II} k_T = R_{II} k_E^2,$$

$$X'_{II} = X_{II} k_T = X_{II} k_E^2$$

Приведенной на рисунке 1 схеме замещения соответствуют следующие уравнения Кирхгофа:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 X_1, \\ \dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 r'_2 - j\dot{I}'_2 X'_2 - \dot{E}'_3 - \dot{I}'_2 R'_3 + j\dot{I}'_2 X'_3, \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2), \\ \dot{I}_0 = \dot{I}_\mu + \dot{I}_{R\mu}. \end{cases} \quad (1)$$

В общем случае справедливо соотношение $\dot{I}_\mu \gg \dot{I}_{R\mu}$ и $\dot{I}_0 = \dot{I}_\mu$. Тогда:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_\mu + (-\dot{I}'_2). \quad (2)$$

Для построения векторной диаграммы уравнения системы (1) могут быть преобразованы к виду:

$$\dot{E}'_2 - \dot{E}'_3 = \dot{I}'_2 (r'_2 + r'_3) + j\dot{I}'_2 (X'_2 + X'_3) + \dot{U}'_2 = \dot{I}'_2 Z'_{23} + \dot{U}'_2. \quad (3)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (4)$$

$$Z'_{23} = \sqrt{(r'_2 + r'_3)^2 + (X'_3 + X'_2)^2} \quad (5)$$

$$r'_{23} = r'_2 + r'_3 \quad X'_{23} = X'_3 + X'_2 \quad (6)$$

Векторная диаграмма фазы при заторможенном роторе будет иметь вид, показана на рисунке 2.

Из приведенной векторной диаграммы и схемы замещения для заторможенного двигателя очевидно, что включение преобразователя напряжения в цепь ротора и осуществление операций суммирования возможно только при приведении всех параметров к статору.

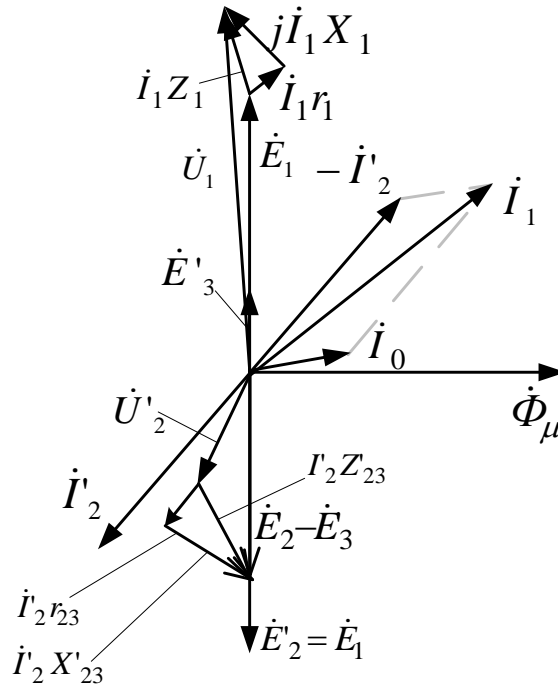


Рисунок 2 – Векторная диаграмма АДФР с преобразователем напряжения в цепи ротора

Алгебраическое суммирование амплитуд ЭДС ротора и выходного напряжения УПН возможно, если УПН содержит два управляемых моста (рисунок 3).

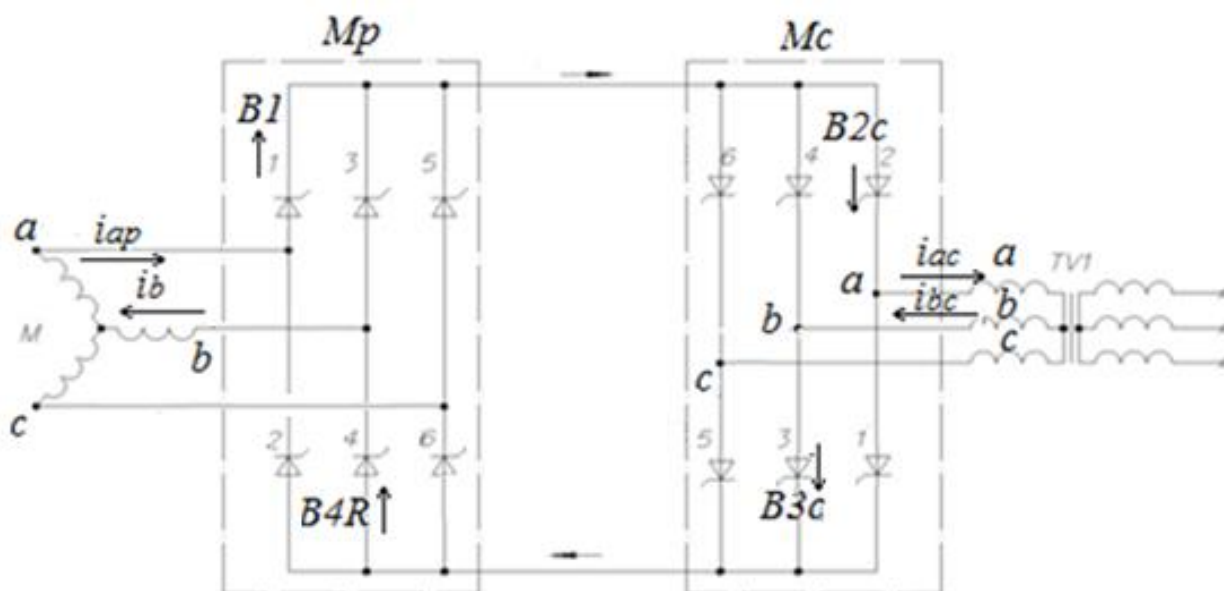


Рисунок 3 – Схема включения управляемого преобразователя напряжения в цепь ротора

Управляемый преобразователь напряжения состоит из трёхфазного сетевого трансформатора TVI и двух мостов. Управляемый мост Mc преобразует выходное напряжение TVI в постоянное напряжение U_d , пропорциональное амплитуде фазных напряжений TVI : $U_d = 2,34U_\phi$. Выходное напряжение моста Mc синхронизируется с частотой тока ротора, т.е. управляемый вентиль соответствующей фазы открывается и закрывается синхронно с фазой ротора. В этом случае обеспечивается суммирование амплитуд напряжений фаз ротора и соответствующих фаз трансформатора TVI . Мост Mc определяет действительное значение величины ЭДС преобразователя напряжения E_3 , а мост Mp осуществляет его суммирование с действительным значением ЭДС ротора E_2 . В результате выполняется операция в соответствии с уравнением (3). Эта операция выполняется с действительными значениями, т.е. уравнению (3) может быть поставлено в соответствие уравнение:

$$E_2 - E_3 = I_2 \sqrt{(r_2 + r_3)^2 + (X_2 s + X_3)^2} \quad (7)$$

Таким образом, Mc определяет амплитуду выходного напряжения УПН, которая складывается или вычитается с амплитудой ЭДС ротора. В этом случае одной из главных задач является выбор параметров трансформатора TVI , которые должны сочетаться с параметрами ротора. Эту задачу можно решить так же, как и задачу управления мостом Mp , на основе структурных представлений и методов теории графов путем анализа статических и динамических характеристик АДФР.

Из векторной диаграммы следует:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1, \quad (8)$$

где $Z_1 = r_1 + jX_1$.

Падение напряжения $Z_1 \dot{I}_1$ в двигателях средней и большой мощности в рабочем режиме мало относительно E_1 и его можно определить как:

$$U_1 \approx E_1 = f 4,44 w_1 k_{o\phi 1} \Phi_s = \Psi \omega, \quad (9)$$

где Φ_s – поток возбуждения машины,

Ψ – потокосцепление.

Вращающееся магнитное поле индуцирует в фазной обмотке ротора ЭДС с частотой f_2 , которая связана с частотой питающей сети $f_2=f s$, тогда действующее значение ЭДС фазы вращающегося ротора определится из выражения

$$E_2 = 4,44 f s w_2 k_{o\sigma 2} \Phi_e. \quad (10)$$

При заторможенном роторе $s=1$ и

$$E_{2н} = 4,44 f w_2 k_{o\sigma 2} \Phi_e = E_2 / s. \quad (11)$$

Здесь $E_{2н}$ – ЭДС неподвижного ротора. Из уравнений (9) и (11) можно установить связь между E_1 и $E_{2н}$:

$$E_1 = (w_1 k_{o\sigma 1} / w_2 k_{o\sigma 2}) E_{2н} = k_T E_{2н}. \quad (12)$$

где $k_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{o\sigma 1}}{w_2 k_{o\sigma 2}}$ – коэффициент трансформации ЭДС.

Из выражения (10) следует $E_2 = E_{2н} s$. Учитывая [7], что $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$, получим

$$E_2 = E_{2н} \left(1 - \frac{\omega}{\omega_0} \right) = E_{2н} - \frac{E_1}{k_T \omega_0} \cdot \omega = E_{2н} - k_E \omega, \quad (13)$$

где ω_0 – скорость идеального холостого хода, равная частоте вращения поля статора,

$k_E = \frac{E_1}{k_T \omega_0}$ – коэффициент обратной связи по ЭДС вращения E_ω , т.е.:

$$E_2 = E_{2н} - E_\omega, \quad (14)$$

где $E_\omega = k_E \omega$ – ЭДС, наводимая вращающимся ротором.

Ток вращающегося ротора в соответствии с уравнением (7) определится разностью ЭДС ротора и ЭДС УПН $E_{23}=E_2-E_3$:

$$I_2 = \frac{E_{23}}{\sqrt{(r_2 + r_3)^2 + (X_2 s + X_3)^2}}. \quad (15)$$

У двигателей с номинальной мощностью свыше 10 кВт активное сопротивление обмотки ротора мало по отношению к реактивному сопротивлению и тогда:

$$I_2 = \frac{E_{23}}{sX_2 + X_3}. \quad (16)$$

Учитывая (12-16), можно представить следующую структуру

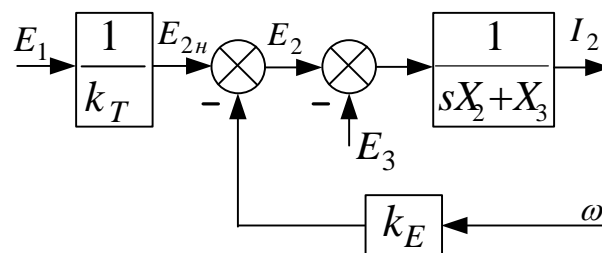


Рисунок 4 – Формирование тока ротора в АДФР с УПН в цепи ротора

Полученная структура позволяет исследовать электромеханические свойства АДФР при различных значениях ω и E_3 и построить электромеханическую характеристику, при этом возможно определить пороговые значения для E_3 и ограничить перегрузки по току.

Электромагнитный момент двигателя можно определять из выражения мощности электрических потерь в роторе:

$$\begin{aligned} \Delta P_{эл} &= M \cdot \omega_0 \cdot s, \\ M_{\delta} &= \frac{\Delta P_{эл}}{\omega_0 s} = \frac{pm_2 I_2^2 r_2}{\omega_0 s} = I_2 \frac{pm_2 I_2 r_2}{\omega_0 s}. \end{aligned} \quad (17)$$

где ω_0 – скорость идеального холостого хода,
 p – число пар полюсов.

Из векторной диаграммы следует, что $I_2 \cdot r_2 = E_2 \cdot \cos \varphi_2$, а $\frac{E_2}{s} = E_{2н}$ и

$$\cos \varphi_2 = \frac{r_2 + r_3}{\sqrt{(r_2 + r_3)^2 + (X_2 s + X_3)^2}} \approx \frac{r_2 + r_3}{X_2 s + X_3}.$$

Подставляя приведенные выше выражения в (16), получим:

$$M_{\delta} = I_2 \frac{pm_2 E_{2н} (r_2 + r_3)}{\omega_0 (X_2 s + X_3)}. \quad (18)$$

Выражение (18) позволяет получить и исследовать механические характеристики, где все значения представлены в действительных значениях и возможно представление в виде $M = f(\omega)$ и определить из анализа электромеханических свойств (16) влияние УПН на качественные показатели характеристик.

С учетом уравнения движения привода

$$M_{\delta} - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (19)$$

где M_{δ} – момент двигателя;

M_c – момент нагрузки, и (12-14, 16, 18,20), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} E_{2н} = \frac{E_1}{k_T}, \\ E_2 = E_{2н} - k_E \omega, \\ I_2 = \frac{E_2 - E_3}{X_2 s + X_3}, \\ M_{\delta} = I_2 \frac{pm_2 E_{2н} (r_2 + r_3)}{\omega_0 (X_2 s + X_3)} = I_2 k_M E_{2н} \frac{r_2 + r_3}{X_2 s + X_3}, \\ k_M = \frac{pm_2}{\omega_0}, \\ J \frac{d\omega}{dt} = M_{\delta} - M_c. \end{cases} \quad (20)$$

Системе уравнений (20) можно поставить в соответствие структурную схему

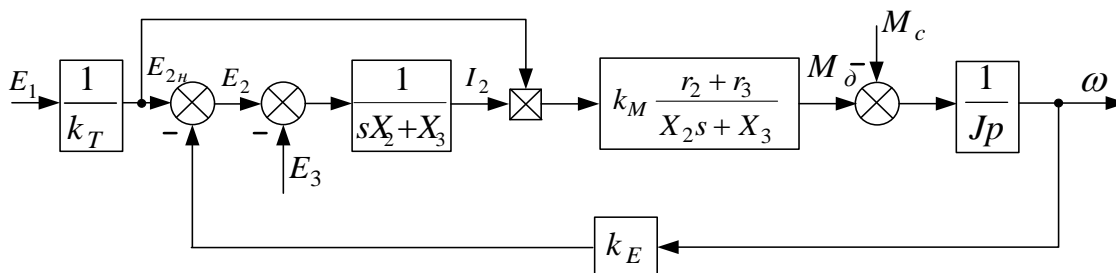


Рисунок 5 – Структурная схема АДФР с УПН

Полученная структура является универсальной, так как может быть использована не только для исследования рабочих, механических и электромеханических характеристик и осуществлять деформацию этих характеристик в требуемом направлении, но и получить инструмент для построения оптимальных систем автоматического управления.

Выводы.

1. Предложен способ осуществления операции суммирования ЭДС ротора и управляемого преобразователя напряжения в цепи ротора. Это позволяет исследовать характеристики АДФР без использования операции приведения параметров ротора к параметрам статора, что значительно повышает качество исследования механических, электромеханических и рабочих характеристик АДФР.

2. Получены уравнения и структура, которые позволяют исследовать электромеханические свойства АДФР с УПН в цепи ротора при различных значениях напряжения УПН и скорости ротора.

3. Получена зависимость, позволяющая исследовать механические характеристики АДФР, где все значения представлены в действительных значениях и возможно представление в виде $M = f(\omega)$ и определить из анализа электромеханических свойств влияние УПН на качественные показатели характеристик.

4. Получена универсальная функциональная структура АДФР с УПН как объекта управления, которая может быть использована не только для исследования рабочих, механических и электромеханических характеристик и осуществлять деформацию этих характеристик в требуемом направлении, но и получить инструмент для построения оптимальных систем автоматического управления.

Библиографический список

1. Ostrovlyanchik, V. Yu. Algorithmic structure of control system of mine winder electric drive with a doubly-fed motor / V. Yu. Ostrovlyanchik, I. Yu. Popolzin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 377. [012042, 8 p.]. – DOI: 10.1088/1755-1315/377/1/012042.

2. Брускин Д. Э. Электрические машины. Часть 1 / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – М.: ВШ, 1979. – 288 с.

3. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. — М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

4. Касаткин А. С. Электротехника / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. — М. : Академия, 2005. – 544 с.

5. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев. — М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

6. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.

7. Островляничик, В. Ю. и др. Режимы работы преобразователя частоты в цепи ротора асинхронного электропривода шахтного подъема / В. Ю. Островляничик, И. Ю. Поползин, В. А. Кубарев, Д. А. Маршев // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2021. – № 7. – С. 262–266.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ MPC-РЕГУЛЯТОРА

Колодин А.А., Ёлшин В.В., Овсяков А.Е.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия, kolodin@istu.edu*

Аннотация. В статье рассмотрена система автоматизированного управления процессом классификации в гидроциклоне. Показаны недостатки существующих способов управления. Представленная система управления базируется на применении прогнозирующего регулятора (Model Predictive Control). Проведено имитационное моделирование и показана эффективность применения данного способа.

Ключевые слова: классификация, автоматизированная система управления, MPC-регулятор, моделирование.

Abstract. The article considers the system of automated control of the classification process in a hydrocyclone. The disadvantages of existing management methods are shown. The presented control system is based on the use of a predictive controller (Model Predictive Control). Simulation modeling is carried out and the effectiveness of this method is shown.

Keywords: classification, automated control system, MPC controller, modeling

Отделение измельчение и классификации занимает важное место в общей технологии обогащения полезных ископаемых. Задача, которая решается на данном переделе — полное или частичное раскрытие зерен минерала и приведение руды в состояние, обеспечивающее успешное протекание последующих обогатительных и других технологических процессов.

При разработке локальных систем автоматического регулирования процессами измельчения и классификации общая задача управления разделяется на несколько в значительной степени взаимосвязанных локальных задач. К ним относятся поддержание оптимальной плотности пульпы в мельницах и классифицирующих аппаратах, стабилизация циркулирующей нагрузки в замкнутых циклах «измельчение — классификация», энергосбережение и повышение производительности оборудования.

Локальные системы автоматического регулирования процессов измельчения и классификации ставят задачей стабилизацию, как правило, одного или нескольких технологических параметров, часто находящихся во взаимосвязи. Управляющие оптимизационные системы ставят задачей устойчивое или наилучшее функционирование технологического процесса и основаны на организации взаимодействия локальных контуров регулирования.

Рассмотрим процесс классификации в гидроциклонной установке, которая включает в себя трубопроводы подачи воды и пульпы, зумпф (накопительную промежуточную емкость) и насос перекачки пульпы из зумпфа в гидроциклон. Качество процесса классификации в первую очередь зависит от соблюдения режимных параметров работы. При осуществлении регулирования данным процессом существуют различного рода ограничения [1], например, определенного рода ограничения при регулировании водного режима. Действительно, если увеличивается расход руды Q при постоянном расходе пульпы из зумпфа, будет увеличиваться уровень в зумпфе. Для предотвращения его переполнения при постоянном расходе воды в мельницу W необходимо уменьшить расход воды W_K в зумпф. Такое действие приведет к повышению плотности пульпы и, к росту крупности слива. Таким образом, вынужденное применение достаточно распространенного на практике контура стабилизации уровня в зумпфе не стабилизирует гранулометрический состав.

Единственное, что возможно в этой ситуации, это — регулирование крупности слива гидроциклона изменением объема подачи воды в мельницу, однако возможности данного способа весьма ограничены.

Возможны другие комбинации управления, учитывающие плотность, уровень в зумпфе, расход пульпы, давление пульпы на входе гидроциклона[2]. Однако следует учитывать, что управляющие воздействия являются взаимозависимыми. Так при увеличивающемся уровне в зумпфе, есть возможность увеличения оборотов насоса. Но это приведет к возрастанию давления на гидроциклоне, что в свою очередь повлечет неоптимальную работу последнего. И наоборот при постоянном давлении на гидроциклоне уровень в емкость может достигнуть критических пределов – перелива или, что ещё хуже, опустошения, которое может повлечь за собой сбой в работе насосного агрегата.

Среди особенностей процесса следует отметить, что процесс классификации в гидроциклоне имеет ряд особенностей для решения задач управления, а именно:

- параметры с взаимным влиянием;
- неконтролируемые изменения параметров исходной руды;
- отсутствие подробной математической модели;
- нелинейность процесса.

Если кратко обобщить сказанное выше, применение стандартных алгоритмов управления не позволяет осуществлять оптимальное управление процессом. В рамках данной работы представлена система управления, базирующаяся на применении прогнозирующего регулятора (Model Predictive Control, MPC-регулятор).

Система управления процессом классификации в гидроциклоне включает в себя два регулятора: регулятор плотности пульпы на выходе из зумпфа (DC) и регулятор с прогнозирующей моделью давления и уровня (MPC-регулятор) (рисунок 1).

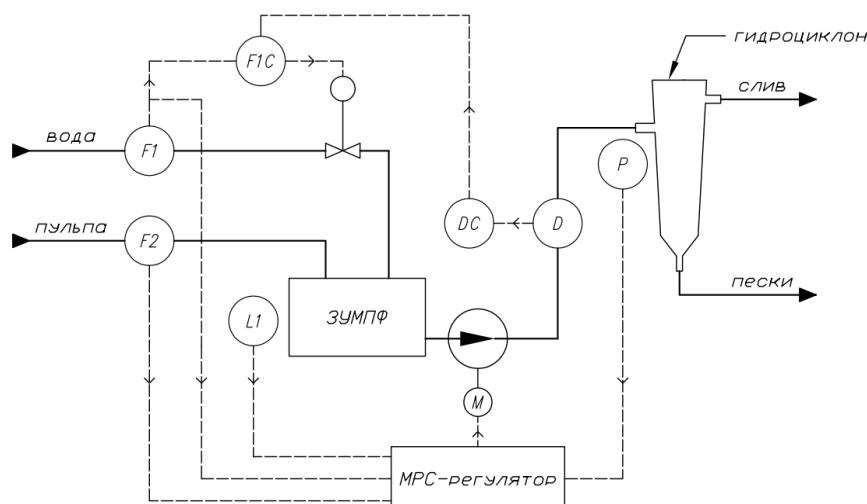


Рисунок 1 – Схема системы управления процессом классификации в гидроциклоне

На схеме показаны: F1 – расход воды, м³/ч; F2 – расход пульпы, м³/ч; L1 – уровень в зумпфе, %; D – плотность в зумпфе (выходе из зумпфа), т/м³; P – давление на гидроциклоне, кПа; M – частотный преобразователь двигателя насоса; F1C – ПИ регулятор расхода воды; DC – ПИ регулятор плотности.

Регулятор с прогнозирующей моделью имеет 4 входных параметра – расход воды, расход пульпы, уровень в зумпфе, давление на гидроциклоне; и один управляющий – частота насоса.

В среде разработки Trace Mode 6 были написаны программы моделирования объекта управления, ПИ-регулятора плотности и регулятора с прогнозирующей моделью.

Модель объекта включает в себя моделирование потоков пульпы и воды, заполнение зумпфа, перекачки пульпы из зумпфа в гидроциклон посредством насоса. Моделируются параметры расхода, уровня, давления и плотности.

Регулирование плотности в зумпфе осуществляется за счет подачи дополнительной воды в зумпф, в качестве регулятора используется ПИ.

Регулирование давления на гидроциклоне и уровня в зумпфе производится по средствам изменения частоты работы насоса. Оба параметра являются взаимосвязанными. Расход воды, как и расход пульпы, являются возмущающими факторами, от них зависит уровень и плотность в зумпфе. Также возмущающим параметром является плотность пульпы, поступающей в зумпф. Регулирование давления на гидроциклоне и уровня в зумпфе осуществляет разработанный ранее МРС-регулятор [3].

Интерфейс моделирующей системы представлен на рисунке 2.

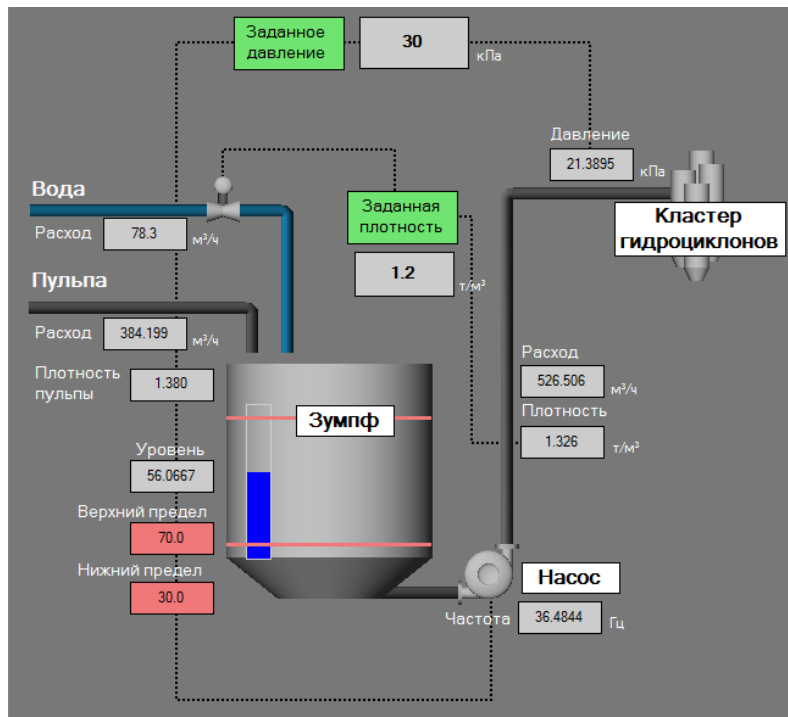


Рисунок 2 – Изображение моделируемого процесса в среде Trace Mode 6

МРС-регулятор вырабатывает управляющие воздействия на основе следующего критерия оптимальности (целевой функции):

$$\min J = \sum (P_{\text{зад}} - P_{\text{гц}})^2 + e^{(L - L_{\text{вп}})} + e^{(L_{\text{нп}} - L)} \quad (7),$$

где $P_{\text{зад}}$ – заданное давление на гидроциклоне, кПа;

$L_{\text{нп}}$ – заданное значение нижнего предела уровня в зумпфе, %;

$L_{\text{вп}}$ – заданное значение верхнего предела уровня в зумпфе, %.

Идея такого критерия заключается в поддержания заданного давления с учётом уровня в баке. При чем последний может находиться в крайних положениях верхнего и нижнего предела. Для исключения опустошения зумпфа и создания воздушной пробки для насоса, давление на гидроциклон будет снижаться, и наоборот при высоком уровне в баке, и предотвращения перелива, давление на гидроциклон будет повышаться, заданное значение в этих случаях будет оказывать намного меньшее влияние. При чем это увеличение или уменьшение будет оптимальным для данного момента времени.

Применяемый регулятор на основе прогнозирующей модели (Model Predictive Control (МРС-регулятор) имеет следующие настроечные параметры [4]: горизонт прогноза $T_p = 20$ сек; горизонт управления $T_c = 2$ сек; время пересчёта $T_t = 1$ сек. Прогнозирующая модель, используемая в регуляторе, имеет время дискретизации $dT = 0.1$ сек. Управляющее воздействие находится с точностью до 0.05 Гц.

Время пересчёта узла монитора реального времени был установлен на 0.2 с.

Параметры целевой функции J установлены следующие: значение нижнего предела уровня в зумпфе $L_{\text{нп}} = 20$ %, верхнего $L_{\text{вп}} = 70$ %, заданное давление на гидроцик-

лоне $P_{зад} = 30$ кПа.

Возмущающие факторы: расход пульпы, расход воды, плотность входной пульпы. На рисунке представлены графики переходных процессов работы регулятора (рисунок 3). На рисунке 4 представлен график изменения входной плотности пульпы и плотности пульпы в зумпфе (выходная плотность). На рисунке 5 представлен график изменения управляемой величины – частоты насоса.

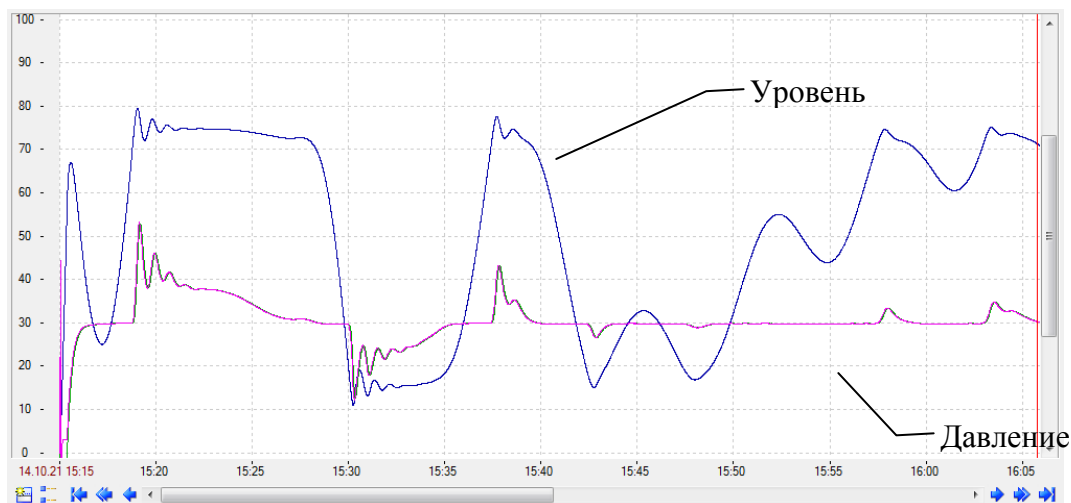


Рисунок 3 - График переходных процессов уровня в зумпфе и давления на гидроциклоне

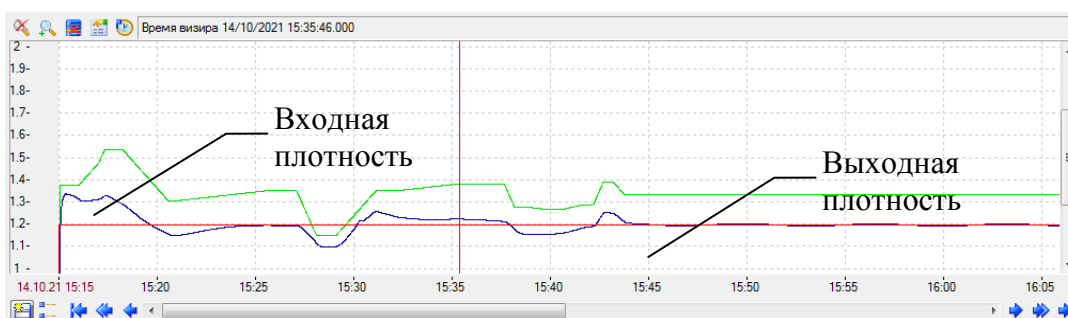


Рисунок 1 - График изменения плотности на входе и выходе (регулируемая) из зумпфа



Рисунок 5 - График изменения частоты насоса

В начальный момент времени, когда плотность пульпы на входе в зумпф возрастает, ПИД-регулятор увеличивает расход воды, чтобы поддерживать плотность на выходе в 1.2 т/м³. Тем самым поднимается уровень в баке. Постепенно уровень достигает предельных значений выше 70 % и МРС-регулятор предотвращает это возрастание путем увеличения давления на гидроциклон. По мере уменьшения плотности на входе – регулятор реагирует снижением давления.

В момент времени 15:28 плотность на входе уменьшается, приток воды снижается, что приводит к уменьшению уровня в баке. Теперь уже регулятор компенсирует эти из-

менения за счет уменьшения давления на гидроциклоне.

В дальнейшем небольшие изменения плотности пульпы и как следствие изменение уровня, также успешно отрабатывались MPC-регулятором, и давление большую часть времени находилось в оптимальном заданном значении.

Проведенные разработка и исследования показывают эффективность использования MPC-регулятора в процессе классификации в гидроциклоне. В зумпфе поддерживается уровень в заданных пределах и давление на гидроциклоне находится в оптимальном значении для текущего момента времени.

Библиографический список

1. Улитенко К. Я. Управление водными режимами измельчена классификации в современных АСУТП Обогащение руд. 2008. №1 С. 35-42.
2. В. В. Морозов, В. П. Топчаев, К. Я. Улитенко, З. Ганбаатар, Л. Дэлгэрбат Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых ISBN: 978-5-98191-073-9 Страницы: 512 «Руда и металлы» 213 4–29 September 2003. Vol. 1. P. 201–216.
3. Колодин А.А., Ёлшин В.В. Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки, Т. 29, № 1, 2021. С. 36-45.
4. В. Muller and P.L. de Vaal. Development of a model predictive for a milling circuit // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 100, No. 7, Nov/Dec 2000. pp. 449-453.

ОБ АЛГОРИТМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫМИ СТАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Ликсонова Д.И., Медведев А.В.

Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия, LiksonovaDI@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается задача идентификации безынерционного многомерного объекта в условиях неполной информации. Это приводит к решению системы неявных функций, которые могут быть определены как параметрическими, так и непараметрическими способами. Вводится понятие составного вектора, который определяется на основании имеющихся априорных сведений об объекте. Приведен алгоритм решения системы неявных функций непараметрического типа. Все эти результаты иллюстрируются проведением соответствующих вычислительных экспериментов, которые могут быть использованы в разнообразных практических задачах.

Ключевые слова: многомерная система, идентификация, составные вектора, априорная информация, непараметрический алгоритм

Abstract. The paper considers the problem of identifying an inertialess multidimensional object under conditions of incomplete information. This leads to the solution of a system of implicit functions that can be defined in both parametric and nonparametric ways. The paper introduces the concept of a composite vector, which is determined on the basis of the available a priori information about the object. An algorithm for solving a system of implicit functions of nonparametric type is presented. All results are illustrated by carrying out the corresponding computational experiments that can be used in a variety of practical problems.

Keywords: multidimensional system, identification, composite vectors, prior information, nonparametric algorithm.

Введение

Разнообразие задач идентификации многомерными безынерционными процессами с запаздыванием продолжает оставаться весьма актуальным [1, 2]. Это можно объяснить наличием изучаемых процессов на практике [3, 4]. Например, в энергетике – процесс го-

рения угля или в стройиндустрии – процесс производства цемента. На подобных производствах довольно часто возникает необходимость в моделировании и последующем управлении исследуемыми многомерными процессами.

Особенностью многомерных процессов является большое число входных и выходных переменных, а также присутствие стохастических связей между компонентами входных и выходных переменных, и связей между собой. В случае наличия стохастических зависимостей между входными и выходными компонентами явное математическое описание объекта будет неизвестно. Поэтому решение задачи идентификации многомерного объекта известными методами, например методом наименьших квадратов, методами стохастических аппроксимаций или методом стохастического моделирования, не приводит к желаемому результату, из-за недостатка нужного количества априорной информации об объекте исследования [5, 6]. В этом случае на пути постановки и рассмотрения подобных задач целесообразно воспользоваться методами непараметрической статистики [2, 7].

Постановка задачи

Рассмотрим многомерный объект, который представлен на рисунке 1. На рисунке 1 приняты следующие обозначения: $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t), \dots, u_m(t))$, $k = \overline{1, m}$ – m -мерный вектор входных управляемых переменных, которые принадлежат определенным областям $u_k \in \Omega_k(u)$; $\mu(t) = (\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_v(t), \dots, \mu_p(t))$, $v = \overline{1, p}$ – p -мерный вектор входных неуправляемых, но контролируемых переменных, которые принадлежат соответствующим областям $\mu_v \in \Omega_v(\mu)$; $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_j(t), \dots, x_n(t))$, $j = \overline{1, n}$ – n -мерный вектор выходных переменных, которые принадлежат соответствующим областям: $x_j \in \Omega_j(x)$; $\xi(t)$ – случайные помехи, действующие на объект, h^u, h^μ, h^x – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса; u_t, μ_t, x_t – измерения входных и выходных переменных в дискретный момент времени t ; (t) – непрерывное время; пунктирные линии показывают наличие зависимостей входных и выходных переменных.

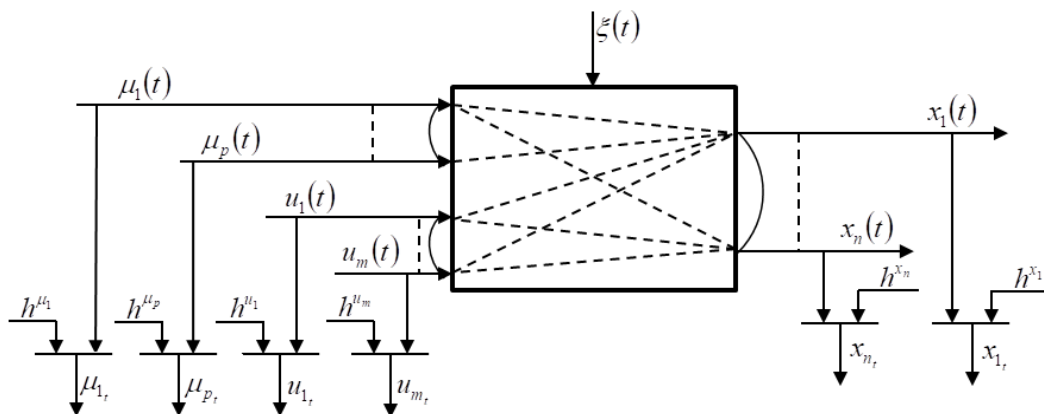


Рисунок 1 - Многомерный объект

Необходимо отметить то, что все измерения входных и выходных переменных осуществляются с помехами, действующими в каналах измерения.

Как уже было сказано выше, объект имеет неизвестные стохастические зависимости компонент вектора входных и выходных переменных. Поэтому математическое описание объекта будет отличаться от общеизвестного представления, а именно будет выглядеть следующим образом:

$$F_j(u(t), \mu(t), x(t)) = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где функции $F_j(\cdot)$ являются не известными.

По различным каналам исследуемого объекта (представлено пунктирными линиями на рисунке 1) зависимость j -й компоненты вектора x может быть представлена в виде некоторой зависимости от тех или иных компонент векторов входных и выходных переменных u , μ и x :

$$x_j = f_j(u^{<j>}, \mu^{<j>}, x^{<j>}), \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Каждый j -й канал многомерной системы может зависеть от нескольких компонент векторов u , μ и x , а может и от всех, в зависимости от априорной информации, например, $x_2 = f_2(u_1, u_3, \mu_1, \mu_2, x_4)$. Такая зависимость называется ситуационным (составным) вектором [8]. Составной вектор – это вектор, составленный из компонент векторов входных и выходных переменных. Составные вектора выписываются исследователем на основании имеющейся априорной информации. В этом случае система уравнений (1) примет вид:

$$F_j(u^{<j>}(t), \mu^{<j>}(t), x^{<j>}(t)) = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где $u^{<j>}(t), \mu^{<j>}(t), x^{<j>}(t)$ – составные векторы. Заметим, что вид уравнений (3) продолжает оставаться неизвестным и не может интерпретироваться как модель исследуемого процесса. Задача решения уравнения (3) состоит в моделировании многомерных процессов. Поэтому в данном случае задача идентификации сводится к задаче решения системы неявных нелинейных уравнений (3) относительно компонент вектора выходных переменных, при известных значениях входных.

Непараметрическое моделирование

Система моделей исследуемого процесса, показанного на рисунке 1, представляется в следующем виде:

$$\hat{F}_j(u^{<j>}(t), \mu^{<p>}, x^{<j>}(t), \bar{u}_s, \bar{\mu}_s, \bar{x}_s) = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где $\bar{u}_s, \bar{\mu}_s, \bar{x}_s$ – временные векторы, т.е. набор данных, поступивший к s -му моменту времени, но и в этом случае функции $F_j(\cdot)$ продолжают оставаться неизвестными. В теории идентификации подобные задачи ранее не рассматривались. Обычно происходит выбор параметрической структуры (3), но, к сожалению, преодоление этого этапа затруднено из-за недостатка априорной информации.

Рассмотрим задачу построения моделей многомерных процессов в условиях непараметрической неопределенности, т.е. в условиях, когда система (4) не известна с точностью до параметров. Таким образом, задача идентификации сводится к тому, что при заданном значении вектора входных переменных, необходимо решить систему (4) относительно вектора выходных переменных [2]. Общая схема решения такой системы сводится к следующей непараметрической процедуре. Сначала вычисляются невязки по формуле:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_j(u^{<j>}, \mu^{<j>}, x^{<j>}(i), \bar{u}_s, \bar{\mu}_s, \bar{x}_s), \quad j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_j(\cdot)$ вычисляются с использованием непараметрической оценки функции регрессии Надарая-Ватсона [9]:

$$\varepsilon_{ij} = \varphi_{sj}(u^{<j>}, \mu^{<j>}, x_j(i)) = x_j(i) - \frac{\sum_{i=1}^s x_j[i] \prod_{k=1}^{<m>} \Phi\left(\frac{u'_k - u_k[i]}{c_{su_k}}\right) \prod_{v=1}^{<p>} \left(\frac{\mu'_v - \mu_v[i]}{c_{s\mu_v}}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{k=1}^{<m>} \Phi\left(\frac{u'_k - u_k[i]}{c_{su_k}}\right) \prod_{v=1}^{<p>} \left(\frac{\mu'_v - \mu_v[i]}{c_{s\mu_v}}\right)}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $\langle m \rangle$ – размерность составного вектора u_k , $\langle m \rangle \leq m$; $\langle p \rangle$ – размерность составного вектора μ_v , $\langle p \rangle \leq p$. Колоколообразные функции $\Phi(\cdot)$ и параметры размытости c_{su_k} и $c_{s\mu_v}$ удовлетворяют условиям сходимости [9]. Следующая процедура состоит в оценивании условного математического ожидания:

$$x_j = M\{x_j | u^{\langle j \rangle}, \mu^{\langle j \rangle}, \varepsilon = 0\}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

И в конечном итоге прогнозируемые значения для каждой компоненты вектора выходных переменных будут выглядеть следующим образом:

$$\hat{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^s x_j[i] \cdot \prod_{k_1=1}^{\langle m \rangle} \Phi\left(\frac{u_{k_1} - u_{k_1}[i]}{c_{su}}\right) \prod_{k_2=1}^{\langle p \rangle} \Phi\left(\frac{\mu_{v_1} - \mu_{v_1}[i]}{c_{s\mu}}\right) \prod_{k_3=1}^{\langle n \rangle} \Phi\left(\frac{\varepsilon_{k_2}[i]}{c_{s\varepsilon}}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{k_1=1}^{\langle m \rangle} \Phi\left(\frac{u_{k_1} - u_{k_1}[i]}{c_{su}}\right) \prod_{k_2=1}^{\langle p \rangle} \Phi\left(\frac{\mu_{v_1} - \mu_{v_1}[i]}{c_{s\mu}}\right) \prod_{k_3=1}^{\langle n \rangle} \Phi\left(\frac{\varepsilon_{k_2}[i]}{c_{s\varepsilon}}\right)}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где колоколообразные функции $\Phi(\cdot)$ можно принять, например, в виде треугольного ядра [9]. Можно использовать и другие виды ядер, например параболическое или прямоугольное. Выбор вида функции $\Phi(\cdot)$ не существенно влияет на качество построения модели, наиболее важным является то, как подобрать соответствующие параметры размытости c_{su} , $c_{s\mu}$ и $c_{s\varepsilon}$. Таким образом, осуществляя вычислительную процедуру (6) и (8), получаются прогнозируемые значения выходных переменных x при входных воздействиях на объект u и μ . В этом и состоит основное назначение искомой модели. В дальнейшем такие модели могут быть использованы в различных системах управления, в том числе и в организационных.

Вычислительный эксперимент

Для примера рассмотрим многомерный объект, который содержит: $u(t) = (u_1(t), u_2(t), u_3(t)) \in [0; 3]$, $\mu_1(t) \in [-2,05; 5,56]$ и $x(t) = (x_1(t), x_2(t))$, где $x_1(t) \in [-1,7; 12,86]$ и $x_2(t) \in [8,09; 20,12]$. Входные и выходные переменные многомерного объекта принадлежат соответствующим областям $\Omega_u(u), \Omega_v(\mu), \Omega_n(x)$. Для данного объекта была сформирована выборка входных и выходных наблюдений $(u_i, \mu_i, x_i, i = \overline{1, s})$ и найдены прогнозные значения выходных переменных при известных входных при помощи вычислительных процедур (6) и (8). Для вычисления использовался объем выборки $s = 2000$, параметры размытости $c_{su} = 0,3$; $c_{s\mu} = 0,2$; $c_{s\varepsilon} = 0,4$ (данные значения были определены в результате проведения многочисленных экспериментов с целью увеличения точности прогнозируемых значений), равномерная помеха, действующая на компоненты вектора выходных переменных, $\alpha = 0,07$.

Точность моделирования оценивалась по следующей формуле:

$$\delta_j = \frac{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - \hat{x}_j|}{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - \bar{x}_j|}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где x_{ij} – текущие наблюдения на объекте,

\hat{x}_j – прогнозируемые значения выхода объекта,

\bar{x}_j – среднее значение по каждой компоненте вектора x .

Описание объекта с точностью до параметров было принято только для проведения

компьютерного исследования, и оставалось неизвестным для изложенной выше теории.

Приведем фрагмент получаемых прогнозируемых значений для выходной переменной $x_1(t)$ на рисунке 2.

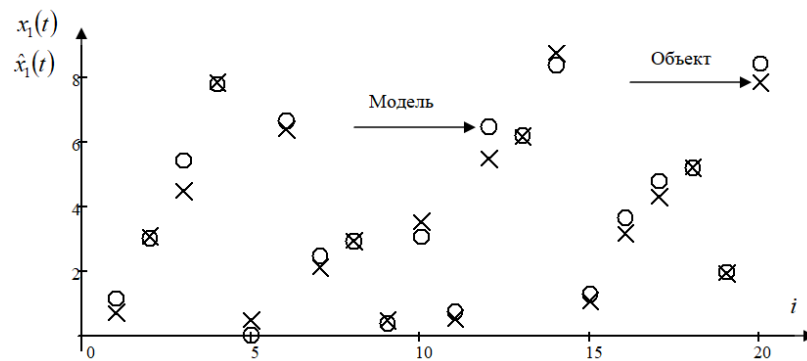


Рисунок 2 - Прогнозируемые значения $\hat{x}_1(t)$ выходной переменной $x_1(t)$ объекта, измеренный с равномерной помехой 7%, $\delta_1 = 0.06$

Из представленного рисунка 2 можно сказать о достаточно хорошей аппроксимации с практической точки зрения при использовании непараметрических процедур. По оси абсцисс представлены элементы выборки, по оси ординат значения выхода объекта $x_1(t)$ и модели $\hat{x}_1(t)$. На рисунке представлены 20 точек выборки, т.е. каждая 100-я точка выборки из общего объема $s = 2000$. Обратим еще раз внимание на то, что исследователю неизвестен вид системы уравнений, описывающий управляемый объект. В качестве информации о последнем используются измерения входных и выходных переменных $(u_i, \mu_i, x_i, i = \overline{1, s})$.

Заключение. В настоящей работе рассматривается задача идентификации многомерного объекта, имеющего стохастические зависимости компонент ситуационного (составного) вектора входных и выходных переменных [8]. Такие процессы довольно часто встречаются на практике, например в металлургии, нефтепереработки, энергетике и других добывающих и перерабатывающих отраслях промышленности. Основной характеристикой непараметрической модели является то, что она строится в условиях неполной информации об объекте исследования [10].

Проведенные численные исследования показывают достаточно удовлетворительные результаты с практической точки зрения. При этом следует отметить, что точность моделирования не зависит от размерности объекта, а существенно зависит от исходной обучающей выборки $(u_i, \mu_i, x_i, i = \overline{1, s})$. При этом важную роль играет влияние параметров размытости c_{su} , c_{sm} и c_{se} , а не выбор колоколообразных функций $\Phi(\cdot)$. При статистическом моделировании многомерных объектов рассматривалось и исследовалось влияние на объект различных случайных факторов при различных объемах обучающей выборки, различных способах и приемах оценивания коэффициентов размытости.

Библиографический список

1. Красовский А.А. Оптимальные алгоритмы в задаче идентификации с адаптивной моделью / А.А. Красовский // Автоматика и телемеханика. – 1976. – №12. – С. 75–82.
2. Медведев А.В. Основы теории непараметрических систем: монография / А.В. Медведев. – Красноярск : Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2018. – 727 с.
3. Александровский Н.М. Адаптивные системы управления сложными технологическими процессами / Н.М. Александровский, С.В. Егоров, Р.Е. Кузин. – Москва: Энергия, 1973. – 272 с.
4. Агафонов Е.Д., Медведев А.В., Орловская Н.Ф., Синюта В.Р., Ярещенко Д.И.

Прогнозная модель процесса каталитической гидродепарафинизации в условиях недостатка априорных сведений // Изд-во ТулГУ. 2018. №9. С. 456–468.

5. Линник Ю.В. Способ наименьших квадратов и основы теорий обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – Москва : Физматгиз, 1962. – 349 с.

6. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 432 с.

7. Кошкин Г.М., Пивен И.Г. Непараметрическая идентификация стохастических объектов. Хабаровск: РАН Дальневосточное отделение, 2009. 336 с.

8. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 399 с.

9. Надарая Э.А. Замечания о непараметрических оценках плотности вероятности и кривой регрессии // Теория вероятностей и ее применение. 1970. Т. 15. Вып. 1. С. 139–142.

10. Медведев А.В., Ярещенко Д.И. Непараметрические алгоритмы идентификации и управления многомерными безынерционными процессами // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 53. С. 72–81.

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ИЗ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ

Никитенко М.С., Кизилев С.А., Худоногов Д.Ю., Верховцев Д.О., Корец Д.М.

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук,
Кемерово, Россия, schum24@rambler.ru*

Аннотация. В работе представлен пример программно-аппаратной реализации способа дистанционного управления физическим оборудованием из виртуальной реальности. В качестве физических объектов использовались блок мониторинга и управления тепловым режимом с нагревательным элементом, термопарой и вентилятором охлаждения, сервопривод, управляемый мотор, датчик обнаружения огня. Аппаратная реализация на устройстве NI MyRIO, программная средствами LabVIEW и Unity, обмен данными на основе сетевого протокола TCP/IP.

Ключевые слова: виртуальная реальность, интерфейс, дистанционное управление, дистанционная система контроля, автоматизированная система управления, технологический процесс

Abstract. The paper presents an example of software and hardware implementation of the method for remote control of physical equipment from virtual reality. A thermal mode monitoring and control unit with a heating element, thermocouple and cooling fan, servo drive, controlled motor, and fire detection sensor used as physical control objects. Implementation on the NI MyRIO device, LabVIEW and Unity software, data exchange based on the TCP / IP network protocol.

Keywords: virtual reality, interface, remote control, remote control system, automated control system, technological process

Из развивающихся технологий в качестве методов воспроизведения рабочего окружения, а также управления технологическими процессами или непосредственно оборудованием, безусловно следует выделить технологию виртуальной реальности (VR). Технологии виртуальной и дополненной реальностей являются одними из основных сквозных цифровых технологий, указанных в Программе "Цифровая экономика Российской Федерации" [1]. Наиболее перспективным представляется использование VR в подготовке и профессиональной деятельности тех специалистов, работа которых представляет определенный риск или угрозу их жизни. Применение технологии способствует ускорению процесса обучения и инструктажа [2, 3]. Активно развивается применение технологий VR для подготовки персонала, обеспечивающего работу сложных технических систем и технологических процессов. Разработка виртуальных тренажеров для обучения и

выработки профессиональных навыков управления позволяет повысить уровень подготовки оперативного персонала, тем самым снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций, вызванных ошибками управления [4]. Применение устройств ВР позволяет реализовывать дистанционное управление объектами, работа в непосредственной близости с которыми может представлять опасность для оператора, либо невозможна [5, 6], однако при этом остается актуальным вопрос вариативности технического исполнения способа управления физическими объектами, а также вопрос обеспечения психической эргономики виртуальной среды для пользователя в процессе работы [7].

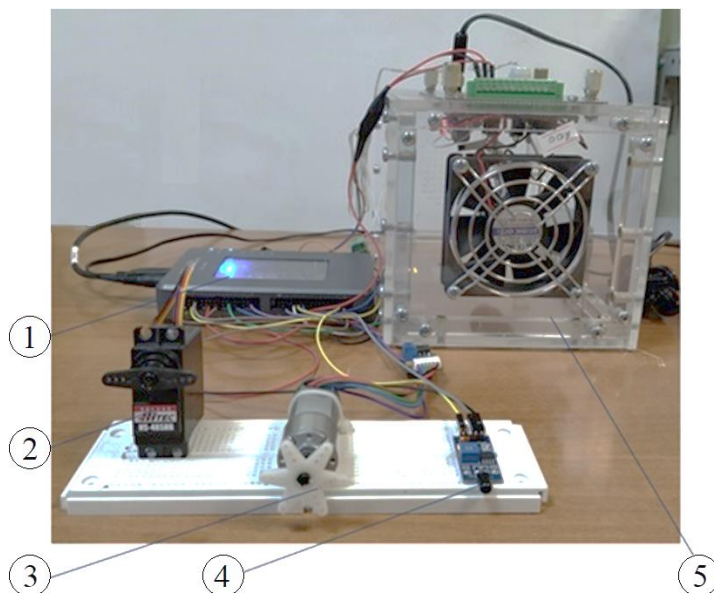
На базе лаборатории перспективных методов управления горнотехническими системами ФИЦ УУХ СО РАН проводятся исследования и разработка как программно-аппаратных средств управления техническими объектами из среды виртуальной реальности, так и рекомендаций к визуальной реализации трехмерных интерфейсов управления. В данной работе представлен один из примеров программно-аппаратной реализации способа дистанционного управления физическим оборудованием из интерфейса управления в виртуальной среде.

Реализация задачи разработки программного способа взаимодействия между объектами виртуальной реальности и физическим оборудованием обеспечивалась программными средствами LabVIEW и Unity.

В качестве физических объектов, управляемых из среды виртуальной реальности, использовались:

- блок мониторинга и управления тепловым режимом «Термобокс», в составе (нагревательный элемент; термопара К-типа; вентилятор);
- сервопривод, имитирующий управление вентиляем в положение открыть/закрыть;
- управляемый мотор постоянного напряжения 5 В с энкодером;
- датчик обнаружения огня.

Внешний вид объектов контроля и управления представлен на рисунке 1. Управление объектами (поворот сервопривода имитируемого вентиля, включение/отключение вентилятора и нагревательного элемента) и мониторинг параметров (температура, обороты мотора, наличие огня) осуществлялись устройством NI MyRIO.



- 1 - NI MyRIO; 2 - сервопривод; 3 - мотор постоянного тока 5 В, с энкодером;
4 - датчик обнаружения огня; 5 - блок мониторинга и управления тепловым режимом

Рисунок 1 – Внешний вид объектов контроля и управления

Устройство NI MyRIO обеспечило управление вентилятором в режимах: включить обдув/отключить обдув, управление нагревательным элементом в режимах: включить

нагрев/отключить нагрев, сбором данных параметров термопары; поворотом сервопривода: $0^\circ - 90^\circ$ (открыть/закрыть); управление оборотами, направлением вращения (реверс) мотора и сбором данных с энкодера; сбором данных с датчика обнаружения огня (норма, угроза, пожар).

Для управления физическими объектами в среде Unity были разработаны виртуальные объекты физического оборудования: «Термобокс», «Серво», «DC мотор» и «Датчик огня». Объект «Серво» состоял из изображения сервопривода и двух активных кнопок с надписями «Открыть» и «Закрыть». Объект «DC мотор» состоял из изображения шкалы скорости часового типа с изменяемым положением стрелки прибора, отображающего значение скорости физического мотора, а также активных кнопок с надписями «+», «-», «Реверс», «Стоп». Объект «Датчик огня» включал в себя цветовой индикатор округлой формы, который представлял собой индикатор состояния с надписями «Норма», «Угроза» или «Пожар», в зависимости от считанного состояния датчика огня. Объект «Термобокс» представлял собой изображение измерительного прибора часового типа с активной стрелкой, изменяющей положение в зависимости от измеренного физической термопарой температуры среды внутри блока мониторинга и управления тепловым режимом, а также изображение активных кнопок «Нагрев» и «Обдув». Внешний вид объектов представлен на рисунке 2.

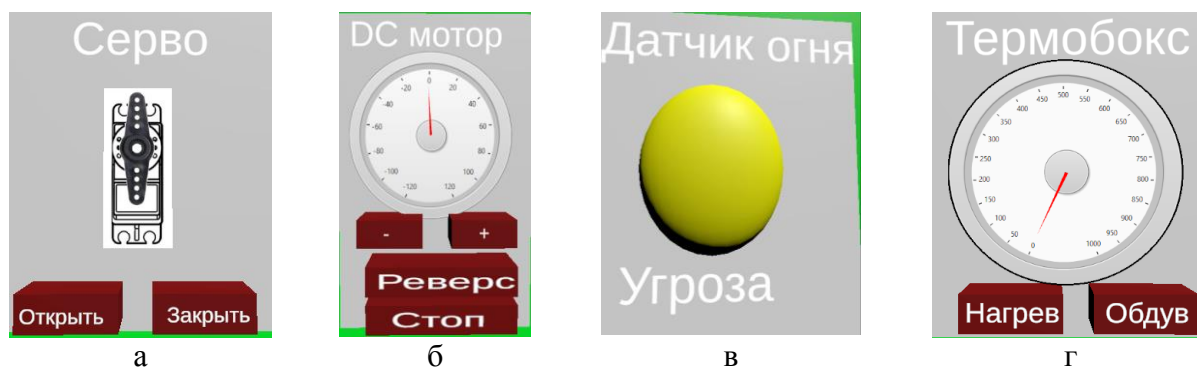


Рисунок 2 – Виртуальные объекты, имитирующие физическое оборудование, где а – «Серво», б – «DC мотор», в – «Датчик огня», г – «Термобокс»

Обмен данными между элементами интерфейса виртуальной среды и физическими объектами, реализован сетевым протоколом TCP/IP. При регистрации событий действий с элементами интерфейса виртуальной среды, серверный модуль программного модуля транслятора данных виртуальной реальности отправлял в программный модуль обмена данными физических объектов с интерфейсом виртуальной среды устройства NI MyRIO команды управления режимами работы в кодах ASCII.

Передача данных по протоколу TCP/IP предусмотрена в двух направлениях:

1. от программного модуля управления физическими объектами к аппаратному модулю управления физическими объектами.
2. от аппаратного модуля управления физическими объектами к программному модулю управления физическими объектами.

Программное обеспечение модуля управления физическими объектами разработано в среде LabVIEW. Поступающие команды из виртуальной среды, по протоколу TCP/IP обрабатывались программным модулем обмена данными физических объектов с интерфейсом виртуальной среды и поступали в аппаратный модуль управления физическими объектами, отображались на индикаторах лицевой панели (рисунок 3) и отправлялись на выполнение в устройство NI MyRIO.

Программный модуль обмена данными разработан на основе протокола TCP/IP и являлся как приемником сообщений, поступающих из среды Unity, так и передатчиком параметров с физических объектов (энкодеры, термопара, датчик огня).

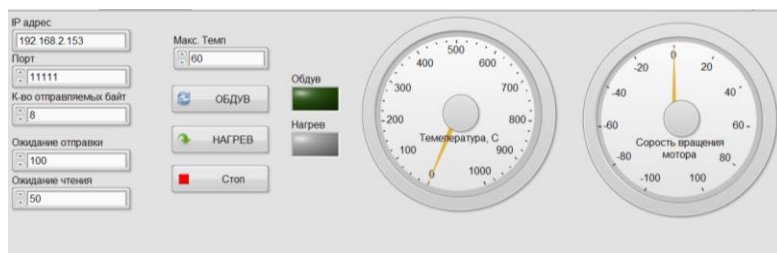


Рисунок 3 – Лицевая панель модуля управления физическими объектами

Программа управления, реализующая способ управления физическим объектам из виртуальной среды [8], тестировалась с применением следующего оборудования:

- персональный компьютер;
- устройство NI MyRIO;
- гарнитура виртуальной реальности Oculus Quest2;
- физические объекты управления (блок мониторинга «Термобокс», сервопривод, управляемый мотор постоянного напряжения 5 В, температурный датчик).

При тестировании проверялись функциональные возможности программы управление объектами из среды виртуальной реальности – индикация положений и состояний управляемых объектов в интерфейсе виртуальной реальности, реализация различных сценариев управления технологическими процессами для профессиональной подготовки специалистов и обучения технологиям управления в образовательных учреждениях.

Результаты функционального тестирования программы, обеспечивающей взаимодействие между объектами в виртуальной реальности и физическим оборудованием представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты функционального тестирования

№	Тестируемый функционал	Ожидаемый результат	Статус
1	Объект виртуальной среды DC Motors, кнопка (-) уменьшение скорости вращения	При нажатии на кнопку (-) скорость вращения физического объекта DC Motors уменьшается	Тест пройден
2	Объект виртуальной среды DC Motors, кнопка (+) увеличение скорости вращения	При нажатии на кнопку (+) скорость вращения физического объекта DC Motors увеличивается	Тест пройден
3	Объект виртуальной среды DC Motors, кнопка (Реверс)	При нажатии кнопки реверс направление вращения DC Motors меняется на противоположное по часовой или против часовой стрелки	Тест пройден
4	Объект виртуальной среды DC Motors, кнопка (Стоп)	При нажатии кнопки (Стоп) производится остановка вращения мотора, кнопка (Стоп) фиксируется. Повторное нажатие кнопки (Стоп), перевод ее в исходное состояние приводит DC Motors в состояние вращения с учетом ранее заданных параметров скорости и направления	Тест пройден
5	Объект виртуальной среды «Термобокс», кнопка (Нагрев)	Нажатие кнопки (Нагрев) включает нагревательный элемент термобокса, обеспечивает увеличение температуры, отображаемой на графическом индикаторе температуры	Тест пройден

Продолжение таблицы 1

№	Тестируемый функционал	Ожидаемый результат	Статус
6	Объект виртуальной среды «Термо бокс», кнопка (Обдув)	Нажатие кнопки (Обдув) включает вентилятор термобокса, что обеспечивает понижение температуры, отображаемой на графическом индикаторе температуры	Тест пройден
7	Объект виртуальной среды «Серво» кнопка (Закрыть)	Нажатие кнопки (Закрыть) обеспечивает поворот сервопривода на 90° вправо (горизонтальное положение эмулятора задвижки)	Тест пройден
8	Объект виртуальной среды «Серво» кнопка (Открыть)	Нажатие кнопки (Закрыть) обеспечивает поворот сервопривода на 90° влево (вертикальное положение эмулятора задвижки)	Тест пройден
9	Объект виртуальной среды «Датчик температуры»	Индикатор температуры информирует о текущем состоянии среды Угроза, принимает красный цвет	Тест пройден

Таким образом, программа выполнила все заданные функции корректно и может быть применена в исследовательских, образовательных и коммерческих целях. Программа может использоваться для имитационного моделирования управления производственными процессами на основе взаимодействия объектов виртуальной реальности с физическими объектами, обучения работе с технологическим оборудованием, развития профессиональной моторики на основе событийных сценариев и визуализации промышленного интернета вещей.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р Об утверждении программы "Цифровая экономика Российской Федерации"
2. Nite S. VR/AR enterprise insider: guidebook for virtual reality and XR. Modu XR, 2020; 142.
3. Aromaa S, Väättänen A, Aaltonen I, Goriachev V, Helin K, Karjalainen J. Awareness of the real-world environment when using augmented reality head-mounted. Appl Ergon. 2020;88:103145. DOI:10.1016/j.apergo.2020.103145
4. Дозорцев В.М. Технологии виртуальной реальности в обучении операторов технологических процессов. Автоматизация в промышленности. 2018. № 6. С. 42-50.
5. Chin-Shan Chen and Ching-Wen Lui. Applying virtual reality to remote control of mobile robot. MATEC Web of Conferences 123, 00010 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201712300010.
6. Величковский Б.Б. Инженерно-психологические проблемы проектирования интерфейсов управления беспилотными летательными аппаратами // Национальный психологический журнал. – 2020. – № 1(37). – с. 31–39.
7. Никитенко М.С., Кизилев С.А., Тарасова И.В., Игнатова А.Ю., Натура Е.С. Разработка тестового трехмерного рабочего пространства и методики оценки функционального состояния оператора при работе в виртуальной среде. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2021. № 7. С. 288-293.
8. Свид. 2021665586 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа взаимодействия между объектами в виртуальной реальности и физическим оборудованием в модуле имитации производственного процесса / С. А. Кизилев, М. С. Никитенко, Д. М. Корец, Д. О. Верховцев; заявители и правообладатели ООО "ЛабИммерТех" (RU), ООО "ИнЛаб" (RU). – №Заявка № 2021663745/69; заявл. 03.09.2021; опубл. 29.09.2021, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ РАССТАНОВКИ ЧЛЕНОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ КОМАНД НА ШАХТАХ

Койнов Р.С.¹, Ляховец М.В.¹, Комаров В.В.², Гурьянов П.С.³

¹Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

²ООО «Сорус», Новокузнецк, Россия

³ООО «ЕвразТехника», Новокузнецк, Россия

Аннотация. *Вспомогательные горноспасательные команды (ВГК) являются важным элементом системы обеспечения безопасности и выживаемости (в случае чрезвычайной ситуации) подземного персонала на шахтах. Своевременный и (главное) постоянный контроль расстановки членов ВГК по объектам шахт в соответствии с нормами выхождаемости и по сменам является фактически единственным (правильным) способом обеспечения этой безопасности. В статье рассматривается вариант автоматизированного мониторинга выхождаемости и расстановки подземного персонала на шахтах, в т.ч. членов ВГК в соответствии с утверждёнными нормами, на основе сбора информации в распределенной гетерогенной системе из отдельных автоматизированных систем позиционирования (АСП) в единое хранилище (базу данных) для её дальнейшего анализа ЛПП.*

Ключевые слова: *учет, события, методы принятия решений, система управления персоналом*

Abstract. *Auxiliary Mine Rescue Teams (SMRs) are an important element of the system for ensuring the safety and survival (in the event of an emergency) of underground personnel in mines. Timely and (most importantly) constant control of the placement of the SMRs members at mine facilities in accordance with the shift rates is actually the only (correct) way to ensure this safety. The article discusses the option of automated monitoring of the yield of underground personnel in mines, incl. members of the SMRs in accordance with the approved standards, based on the collection of information in a distributed heterogeneous system from separate automated positioning systems (APS) into a single repository (database) for its further analysis by decision makers.*

Keywords: *accounting, events, decision-making methods, personnel management system*

Общие сведения о вспомогательных горноспасательных командах

Вспомогательные горноспасательные команды (ВГК) создаются для локализации и ликвидации последствий аварии (чрезвычайной ситуации) в начальный период ее возникновения (до прибытия профессиональных аварийно-спасательных служб, профессиональных аварийно-спасательных формирований), оказания содействия прибывшим профессиональным аварийно-спасательным службам, профессиональным аварийно-спасательным формированиям, а также для выполнения на опасном производственном объекте других работ, требующих применения изолирующих дыхательных аппаратов. Основаниями для создания ВГК являются статья 16.2 Федерального закона от 20 июня 1996 г. № 81-ФЗ «О государственном регулировании в области добычи и использования угля, об особенностях социальной защиты работников организаций угольной промышленности», статья 10 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Основными задачами ВГК являются:

- спасение людей, застигнутых аварией на опасном производственном объекте, оказание первой помощи пострадавшим и их эвакуация с аварийного участка;
- локализация (ликвидация) последствий аварий (чрезвычайных ситуаций);
- участие совместно с профессиональными аварийно-спасательными службами, профессиональными аварийно-спасательными формированиями в локализации (ликвидации) последствий аварий (чрезвычайных ситуаций);
- участие совместно с профессиональными аварийно-спасательными службами, профессиональными аварийно-спасательными формированиями в локализации (ликвидации) последствий аварий (чрезвычайных ситуаций);
- повышение противоаварийной готовности опасных производственных объектов и выполнение работ, требующих применения изолирующих дыхательных аппаратов, в

соответствии с законодательством Российской Федерации.

Численность членов ВГК, включая членов ВГК подрядных организаций, осуществляющих подземные горно-капитальные работы, определяется руководителем организации с учетом требований, предусмотренных п. 6 в ред. Приказа МЧС России от 24.02.2019 № 96, а именно: на объектах ведения подземных горных работ численность членов ВГК с учетом расстановки их по рабочим местам и сменам должна обеспечивать прибытие не менее 2 членов ВГК к месту аварии со стороны свежей струи воздуха в течение 30 минут с момента получения задания или сообщения об аварии при невозможности прибытия за это время к месту аварии профессиональной аварийно-спасательной службы, профессионального аварийно-спасательного формирования.

На шахтах угольной промышленности численность членов ВГК должна составлять не менее 10 % от числа работников, занятых на подземных горных работах (таблица 1).

Таблица № 1 – Ориентировочная численность членов ВГК

№	Наименование объекта	Количество членов ВГК в смену, чел.
1.	Очистной забой	2
2.	Подготовительный забой	1
3.	Конвейерный транспорт	1
4.	Шахтный транспорт	1
5.	Стационарные подъемные установки	По 1 на каждую подъемную установку
6.	Объекты ведения открытых горных работ	3

Предлагаемый принцип автоматизированного мониторинга выхождаемости и расстановки членов ВГК на шахтах

Для решения задачи мониторинга выхождаемости и расстановки членов ВГК предлагается использовать сведения, собираемыми автоматизированными системами позиционирования (АСП) персонала и транспорта в части фиксации меток светильников подземного персонала на считывателях объектов шахт (считыватели закреплены за объектами, таблица 1).

В настоящее время на шахтах широко применяются АСП следующих производителей ООО «Mine Radio Systems» (многофункциональная система безопасности «FlexCom»), ООО «Уральские Технологические Интеллектуальные Системы» (система позиционирования горнорабочих и транспорта «СПГТ-41»). Рассмотрим принципы сбора данных на примере этих систем.

АСП «FlexCom» и «СПГТ-41» имеют базы данных для хранения информации о состояниях оборудования. АСП «FlexCom» использует СУБД MySQL, а СПГТ-41 - СУБД FireBird. Структуры этих баз различны, но принцип хранения условно одинаковый.

Системы позволяют собрать из их БД следующий набор данных: название считывателя, дата и время события, название светильника, владелец светильника, дата и время события светильника (например, связывания светильника и владельца).

Таким образом, решение задачи можно поделить на несколько этапов:

1. Сбор информации о фактах регистрации светильников (в разрезе указанной выше информации) на считывателях по всем нужным АСП (возможно, по многим шахтам) в единую БД (рисунок 1). Упрощенная схема единой БД приведена на рисунке 2.

2. Идентификация текущих владельцев светильников. Задача решается следующим образом: в АСП можно узнать табельный номер текущего владельца светильника. По табельному номеру в системе ERP (SAP) можно узнать подробную информацию о работнике, в т.ч. его принадлежность к членам ВГК. Т.е., если при выходе на смену работника была корректно проведена операция регистрации его светильника, то его дальнейшая однозначная идентификация возможна.

3. Связывание считывателей по участкам предприятия и укрупненным группам участков. Данная операция необходима, чтобы иметь возможность строить сводные отчеты по выходу членов ВГК по участкам и укрупненным группам.

4. Связывание временных меток фактов регистрации светильников на считывателях со сменами работы шахт. Расписание смен на предприятиях (шахтах) разное, поэтому

отчеты по выхождаемости и расстановки должны строиться согласно матриц смен каждого предприятия.

5. Формирование агрегированных данных по выхождаемости для отчетов.

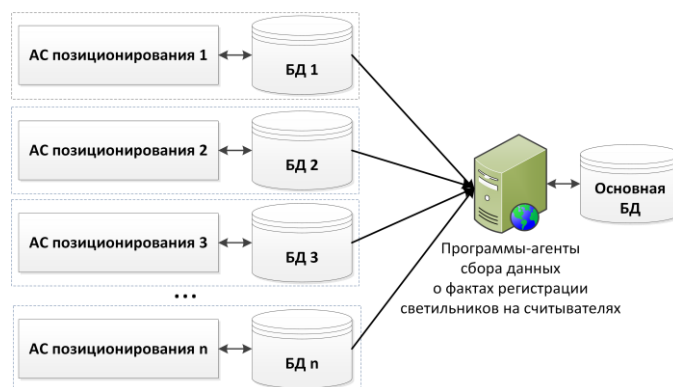


Рисунок 1 – Схема сбора данных о фактах регистрации светильников на считывателях

Практическая реализация этапов поставленной задачи

1. *Сбор информации о фактах регистрации светильников.* Подобные задачи по сбору однородной информации в распределенной гетерогенной системах успешно решались разными способами. Например, в [4] предложено использование стандартных программных средств для сбора и отображения оперативной информации для системы визуализации конвейерного транспорта. В ходе решения задачи в данном проекте использовался подход, аналогичный описанному в [5], и заключающийся в создании специализированного программного обеспечения, выполняющего функции сбора, хранения, анализа и отображения пользователю информации.

Для реализации поставленной задачи необходимо, в первую очередь, разработать БД, подходящую для сбора информации о фактах регистрации светильников из любой АСП. Предлагаемая схема данных главной БД приведена на рисунке 2 (на примере СУБД MS SQL Server версии не ниже 2012). На этом этапе необходимы таблицы «Шахты», «Устройства контроллеры», «Считыватели», «Данные считывателей позиционирования». Информация, предварительно обработанная и очищенная, собирается в эти таблицы с помощью программ-агентов (разработанных отдельно для АСП «FlexCom» и «СПГТ-41») из АСП разных шахт.

2. *Идентификация текущих владельцев светильников.* На данном этапе происходит загрузка сведений о работниках из ERP (SAP) в таблицы «Работники», «Члены ВГК», добавление сведений фактах регистрации светильников в таблицу «Текущая статистика по работникам»; а если работник член ВГК, то и в таблицу «Текущая статистика по ВГК».

3. *Связывание считывателей по участкам предприятия и укрупненным группам участков.* На данном этапе используются таблицы «Структуры шахт», «Структуры шахт по подкатегориям», «Категории структур», «Подкатегории структур». Такое связывание в итоге позволит строить агрегированные отчеты по выхождаемости и расстановке работников (в т.ч. членов ВГК) в разрезе подкатегорий и категорий структур. Под категориями структур понимаются: очистной забой, подготовительный забой, конвейерный транспорт, шахтный транспорт, аэрологическая безопасность, прочие (остальные участки).

4. *Связывание временных меток фактов регистрации светильников на считывателях со сменами работы шахт.* На данном этапе используются таблицы «Периоды смен на шахтах» (матрицы смен по шахтам), «Данные считывателей позиционирования» – из данной таблицы данные загружаются в таблицы «Текущая статистика по работникам», «Текущая статистика по ВГК» в привязке к номеру смены. Номер смены предлагается следующего формата «ууууммddn», где уууу – год (на момент сбора данных), мм – месяц, dd – день, n – порядковый номер смены. Такой формат позволяет получить уникальный номер смены для конкретного временного периода.

5. *Формирование агрегированных данных по выхождаемости для отчетов.* На этом этапе таблица «Агрегированная статистика по подкатегориям структур» заполняется сводными данными на конкретную дату по каждой подкатегории структур шахт.

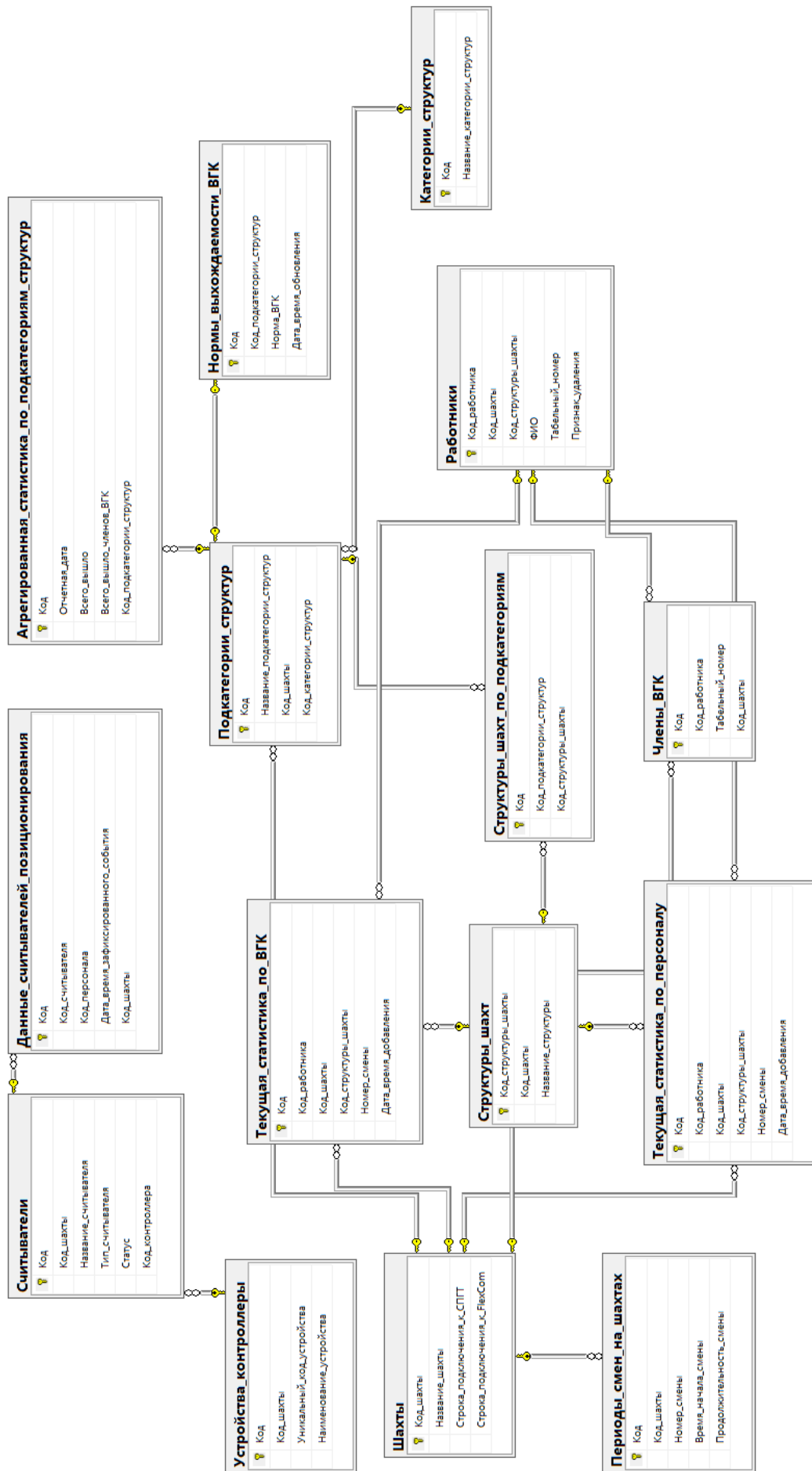


Рисунок 2 – Предлагаемая (упрощенная) схема данных основной БД

В рамках выполнения проекта были разработаны программные агенты для сбора данных о фактах регистрации светильников из АСП (язык программирования: С#). Укрупненный алгоритм работы программ-агентов следующий:

1. Производится подключение к главной БД согласно строке подключения, прописанной, например, в INI-файле настроек программы.
2. Производится чтение информации (настроек) об АСП, код которой прописан, например, в INI-файле настроек, в главной БД.
3. Подключение к БД АСП и синхронизация справочников считывателей БД АСП и главной БД.
4. Проверка новых данных о фактах регистрации светильников с момента прошлого подключения, загрузка этих данных (с разделением на необходимые типы) в главную БД с предварительной обработкой и очисткой.
5. Сохранение метки времени последнего события для следующего цикла загрузки.

Также были разработаны отчетные формы в виде веб-приложения (язык программирования С#, ASP.NET MVC). Пример отчетов о выходжаемости и расстановки членов ВГК на шахте приведен на рисунке 3

Выходжаемость членов ВГК в шахте за сутки по сменам		1 см	2 см	3 см	4 см	Члены ВГК на шахте
Выходжаемость всего на смене		209	161	0	0	
Выходжаемость членов ВГК на смене		36	32	0	0	
Норма членов ВГК на смене		21	16	0	0	
Достаточность членов ВГК на смене (по шахте)		Да	Да	Да	Да	
Всего подземных работников на шахте						564
Всего членов ВГК на шахте						120
Покрытие членов ВГК в %						21
Выходжаемость членов ВГК по участкам за сутки по сменам		1 см.	2 см.	3 см.	4 см.	Кол-во членов ВГК на участках
Очистной забой	Участок №8	3	4			16
	Участок №5	4	0			15
Подготовительный забой	Участок №6	5	4			16
	Участок №9	9	10			22
Конвейерный транспорт	КТ	2	1			8
Шахтный транспорт	ШТ	3	4			14
Аэрологическая безопасность	Аэрологическая безопасность	2	1			5
Прочие (остальные участки)	Прочие	8	8			24

Рисунок 3 – Пример отчета по выходжаемости и расстановки членов ВГК на шахте

Заключение

В статье приведена общая информация о вспомогательных горноспасательных командах. Показана целесообразность и важность задачи автоматизированного контроля расстановки членов ВГК по объектам шахт. Поставлена задача разработки единой системы учёта выходжаемости и расстановки членов ВГК на основе данных МБС различных производителей, имеющих в рамках своих АСП различные СУБД и БД различной структуры. В рамках решения задачи предложен вариант структурной схемы единой системы сбора и учета информации о выходжаемости и расстановки работников (в т.ч. ВГК). Предложен вариант отчетной формы по поставленной задаче.

Библиографический список

1. Грачев А.Ю., Новиков А.В., Гоффарт Т.В., Урусов Л.В. Многофункциональные системы безопасности и позиционирование персонала в шахтах // Горная промышленность. 2016. №2 (126). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnye-sistemy-bezopasnosti-i-pozitsionirovanie-personala-v-shahtah> (дата обращения: 05.11.2021).
2. Грачев А.Ю., Новиков А.В., Паневников К.В., Терехов Д.Б. МФСБ в угольной шахте - позиционирование и оповещение персонала // Вестник Научного центра. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mfsb-v-ugolnoy-shahte-pozitsionirovanie-i-opoveschenie-personala> (дата обращения: 05.11.2021).
3. Жуков М.О., Иванов А.Е., Мацко А.В., Меркулов И.В., Нарымский Б.В. Система наблюдения и оповещения персонала угольных шахт. Состояние и перспективы развития // ЖВТ. 2013. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-nablyudeniya-i-opovescheniya-personala-ugolnyh-shaht-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 05.11.2021).
4. Коровин Д.Е., Ляховец М.В., Иванов Д.В. Разработка системы сбора оперативной информации для системы визуализации конвейерного транспорта // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды XII Всероссийской науч.-практич. конф. / Под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – С.85-88.
5. Койнов Р.С., Ляховец М.В., Добрынин А.С. Особенности учета простоев технологических линий поточно-транспортных систем // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды XI Всероссийской науч.-практич. конф. / Под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – С.178-184.

КОМПЕНСАЦИЯ ЭФФЕКТА ЗАТЕНЕНИЯ БАШНИ ВЕТРОУСТАНОВОК СРЕДСТВАМИ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Чепига А.А., Юсеф А.

*"Национальный исследовательский университет "МЭИ",
Москва, Россия, andreichepiga@gmail.com*

Аннотация. В данной работе представлен алгоритм компенсации теневого эффекта ветроустановки с синхронным генератором с постоянными магнитами. Метод основан на принципах векторного регулирования и обеспечивает компенсацию колебаний мощности ветрового потока, что, соответственно, позволяет снизить уровень колебаний активной мощности генератора. В методе используется алгоритм настройки контуров тока, скорости и регулирования поворота лопасти ветрогенератора, позволяющие решить проблему эффекта затенения башни. Полученные с помощью предложенного метода данные могут быть использованы для эффективного моделирования работающих параллельно с сетью ветроустановок и оптимизации их параметров.

Ключевые слова: ветроустановка, синхронный генератор с постоянными магнитами, векторное регулирование, активная мощность, контур тока, контур скорости, контур регулирования поворота лопасти, эффект затенения башни.

Abstract. This paper presents a method for stabilizing the active power of a wind turbine driving a permanent-magnet synchronous generator. The method is based on the principle of vector control and provides compensation for power fluctuations of the wind flow, which allows to reduce the level of active power deviation of the generator. The method implements control algorithm for current loop, speed loop and blade pitch loop to solve the problem of the tower shadow effect. The proposed method can be used for simulation of wind turbines operating in parallel with the grid and optimization of their parameters.

Keywords: power control, wind energy, permanent magnet machines, machine vector control, control system synthesis, pitch control.

С увеличением количества ветровых станций и их установленной мощности возникает ряд вопросов, требующих дополнительных исследований. Так, при параллельной работе ветроэлектростанций с энергосистемой в ряде случаев не обеспечивается качество напряжения из-за колебаний мощности, выдаваемой в сеть [1]. Причиной этого может быть как нестабильность скорости ветра, так и конструктивные особенности ветроустановок [2]. Актуальным решением этой задачи является совершенствование системы регулирования и разработка методов математического моделирования режимов работы ветроэнергетических установок.

В ветроэнергетических системах используются различные типы машин. Наиболее распространенным из них, используемым в ветрогенераторах, является синхронный генератор с постоянными магнитами, поскольку он обеспечивает хорошую производительность в широком диапазоне скоростей.

В данной статье на базе синхронного генератора с постоянными магнитами описан синтез регулирования ветрогенераторной установки с учетом эффекта затенения и спектральной модели ветра Ван дер Ховена, которая способна обеспечивать режим стабилизации мощности путем использования принципов векторного регулирования.

Перед началом анализа динамических свойств системы регулирования следует проанализировать природу колебаний мощности ветроколеса, которые вызываются как свойствами ветрового потока, так и конструктивными особенностями ветроустановок. В изученных работах [3] показано, что поведение скорости ветрового потока может быть описано как сумма низкочастотной и турбулентной компонент согласно спектральной модели Ван дер Ховена по следующей формуле:

$$v(t) = v_s(t) + v_t(t), \quad (1)$$

где v_s – низкочастотная компонента;

v_t – высокочастотная (турбулентная) компонента скорости ветра.

Периодические изменения приводного момента ветроколеса, вызванные эффектом затенения башни, также можно воспринимать как последствия колебаний скорости ветра, хотя причина этих колебаний не в природе ветра, а в особенностях конструкции ветроустановки. Именно благодаря особенностям конструкции, лопасти ветроколеса по очереди пересекают зону затенения трубчатой башни, оказываясь в безветренной зоне. Это и приводит к колебаниям момента ветроколеса на частоте $1 \div 2$ Гц, в зависимости от скорости его вращения. Следует отметить, что такая частота значительно усиливает воздействие возмущающего фактора на систему регулирования.

Для обеспечения компенсации колебаний мощности ветрового потока необходимо использовать быстродействующую систему регулирования, потому что механическая система регулировки pitch-угла не в состоянии обеспечить качественную стабилизацию выходной мощности [4].

Для решения этой задачи целесообразно использовать быстродействующую систему векторного регулирования, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

Приведенная система регулирования может применяться для ветроустановки с переменной скоростью вращения ветроколеса, что обеспечивается за счет использования преобразователя частоты. В этой системе задача регулирования скорости вращения ветроколеса и момента генератора разделена между двумя контурами.

Регулирование скорости вращения ветроколеса осуществляется за счет изменения pitch-угла. Регулирование момента осуществляется во вращающейся системе координат d-q, вещественная ось d которой связана с вектором потока ротора. Необходимые обратные связи в системе регулирования обеспечиваются моделью генератора, которая базируется на уравнениях статора и ротора синхронной машины, записанных для вращающейся системы координат [5].

Ввиду малого значения постоянной времени современных преобразователей ча-

сты, работающих с высокими частотами модуляции до 20 кГц, контур регулирования моментобразующей компоненты тока статора имеет большое быстродействие, которое является достаточным для компенсации колебаний возмущающего воздействия.

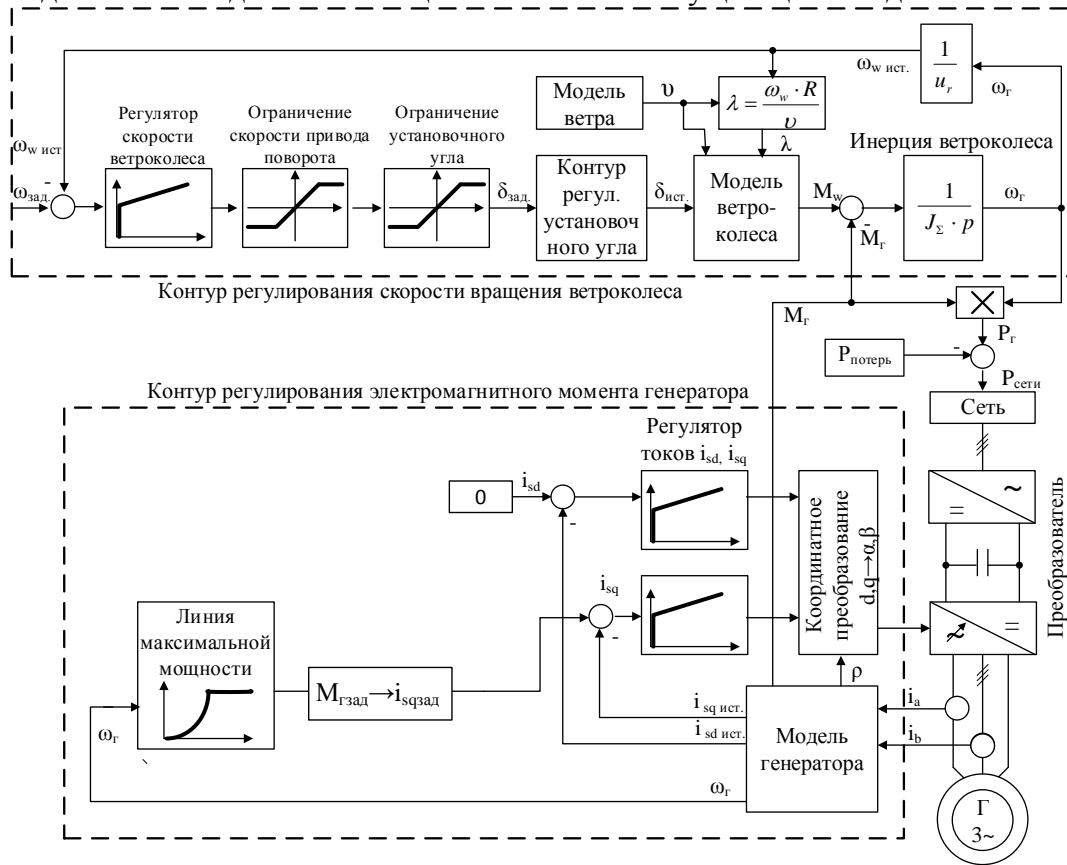


Рисунок 1 – Структурная схема двухконтурной системы стабилизации активной мощности ветроустановки

Передаточная функция и значение коэффициентов регулятора скорости вращения ветроколеса определяются согласно симметричному оптимуму:

$$\begin{cases} G_{\omega R}(p) = \frac{T_{reg} \cdot p + 1}{T_{\omega 0} \cdot p}; \\ T_{reg} = 4.25 \cdot T_s; \\ T_{\omega 0} = \frac{8.5 \cdot T_s^2 \cdot k_{ws}}{J}, \end{cases} \quad (2)$$

где T_s – постоянная времени статора;

J – момент инерции генератора;

k_{ws} – коэффициент передачи модели ветроколеса, который связывает значение установочного угла лопасти со значением момента ветроколеса, причем значение этого коэффициента должно постоянно определяться системой по причине нелинейной зависимости коэффициента мощности ветроколеса – c_{pw} от pitch-угла.

После применения коэффициентов регулятора согласно формуле (2) можно получить значения передаточной функции замкнутого контура регулирования скорости вращения ветроколеса по отношению к возмущающему воздействию, которым являются колебания момента ветроколеса, обусловленные колебаниями скорости ветра. Этот контур представляет собой звено 3-го порядка, но после упрощения его передаточная функция

приобретает вид:

$$G_n(p) \approx \frac{1}{J} \cdot \frac{8,5 \cdot T_s^2 \cdot p}{4,25 \cdot T_s \cdot p + 1} \quad (3)$$

При условии допущения, что сигнал возмущающего влияния изменяется по закону, близкому к синусоидальному, с частотой колебаний, обусловленных эффектом затенения башни, на основе передаточной функции (3) можно составить дифференциальное уравнение, которое будет связывать скорость вращения ветроколеса – ω_w с амплитудой A и частотой колебаний ω_k возмущающего воздействия:

$$\frac{d\omega_w(t)}{dt} + \frac{1}{4,25 \cdot T_s} \cdot \omega_w(t) = \frac{2 \cdot A \cdot \omega_k \cdot T_s}{J} \cdot \cos(\omega_k \cdot t) \quad (4)$$

Решив данное уравнение (6) относительно скорости вращения ветроколеса – $\omega(t)$, получим выражение:

$$\omega_w(t) = \frac{2 \cdot A \cdot \omega_k \cdot T_s}{J} \cdot \left(\frac{\frac{1}{4,25 \cdot T_s} \cos(\omega_k \cdot t) + \omega_k \sin(\omega_k \cdot t)}{\left(\frac{1}{4,25 \cdot T_s}\right)^2 + \omega_k^2} \right) \quad (5)$$

Амплитуда колебаний возмущающего воздействия, вызванных эффектом затенения башни, может достигать величины порядка 15 % от значения номинального момента ветроколеса при снижении скорости ветра в секторе затенения в 2 раза. Следовательно, при частоте колебаний возмущения – $f_k \approx 1$ Гц, постоянной времени контура скорости поворота лопасти – $T_s = 0,025$ с и суммарном моменте инерции ветроколеса – $J = 1468$ кг·м² на основании формулы (5) можно оценить амплитуду колебаний скорости вращения генератора, которая будет равняться примерно 0,3 % от его номинальной скорости. При указанном уровне амплитуды колебаний скорости вращения – 0,3 %, амплитуда колебаний активной мощности не превысит значения 1 %.

Результаты моделирования процесса стабилизации мощности генератора при колебаниях скорости ветра в программном пакете MATLAB продемонстрированы на рисунке 2.

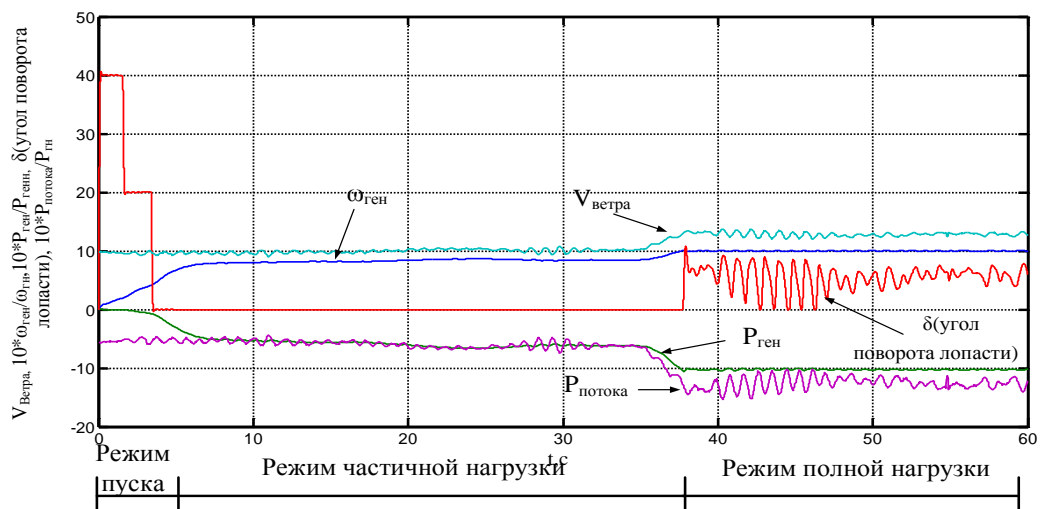


Рисунок 2 – Поведение ветрогенераторной установки в основных режимах работы (активная мощность генератора $P_{ген}$, мощность ветрового потока $P_{поток}$, скорость вращения генератора $\omega_{ген}$, скорость ветра $V_{ветра}$, угол поворота лопасти δ)

На данном графике видно, что в режиме частичной нагрузки мощность генератора по среднему значению ($P_{ген}$) пытается повторить поведение мощности ветрового потока ($P_{потока}$), при этом ветроколесо работает с максимальным расчетным коэффициентом мощности. В режиме полной нагрузки, то есть после достижения скорости вращения генератора своего номинального значения, активная мощность генератора становится меньше, чем мощность ветрового потока, включается контур регулирования поворота лопасти, и значения мощности и скорости генератора ограничиваются на уровне номинала, что выполняется благодаря регулированию угла поворота лопасти δ , который в режиме частичной нагрузке был равным нулю.

Использование двухконтурной системы стабилизации мощности ветроустановки, в которой функции регулирования скорости вращения ветроколеса и момента генератора распределены между системой pitch-регулирования и системой векторного регулирования соответственно, позволяет снизить уровень колебаний активной мощности генератора, обусловленных в большей степени эффектом затенения башни, примерно на порядок по сравнению с концепцией прямого подключения синхронного генератора к сети, что, безусловно, положительно сказывается на качестве сетевого напряжения с точки зрения соответствия его международным требованиям.

Библиографический список

1. C. Lumbraeras, J. M. Guerrero, D. Fernandez, D. Diaz, C. Gonzalez, F. Briz, "Analysis and Control of the Inductorless Boost Rectifier for Small Power Wind Energy Converters," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, pp. 689 – 700, Jan.-Feb. 2019.
2. A. Lebioda, K. Rudion, A. Orths, Z. Styczynski, "Investigation of disposable reserve power in a large-scale wind farm," 2005 IEEE Russia Power Tech, 27-30 June 2005.
3. E. Ebrahimzadeh, F. Blaabjerg, X. Wang, C. L. Bak, "Reducing Harmonic Instability and Resonance Problems in PMSG-Based Wind Farms," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 6, pp. 73 – 83, March 2018.
4. G. Rigatos, N. Zervos, D. Serpanos, V. Siadimas, P. Siano, M. Abbaszadeh, "Condition Monitoring of Wind-Power Units Using the H-Infinity Kalman Filter," 2019 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), 18-20 March 2019.
5. N. Bianchi, A. Lorenzoni, "Permanent magnet generators for wind power industry: an overall comparison with traditional generators," International Conference on Opportunities and Advances in International Power Generation, 18-20 March 1996.

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЗАФИКСИРОВАННЫХ СОБЫТИЙ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА И ТРАНСПОРТА НА ШАХТАХ

Койнов Р.С.¹, Ляховец М.В.¹, Комаров В.В.², Гурьянов П.С.³

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

² ООО «Сорус», г. Новокузнецк, Россия

³ ООО «ЕвразТехника», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Ведение учёта зафиксированных событий систем позиционирования персонала и транспорта на шахтах является важнейшим фактором их бесперебойной работы, что, в свою очередь, является одним из основных факторов обеспечения безопасности подземного персонала. Наличие информации о событиях (неработоспособности) считывателей позиционирования позволяет лицам, принимающим решения, (ЛПР) сделать выводы о необходимости проведения текущего или планового ремонта систем позиционирования или связанных систем и линий связи. В статье рассматриваются принципы и алгоритмы сбора информации в распределенной гетерогенной системе из отдельных автоматизированных систем позиционирования (АСП) в единое хранилище (базу данных) для её дальнейшего анализа ЛПР.

Ключевые слова: учет, события, методы принятия решений, автоматизированный сбор данных

Abstract. Keeping records of recorded events of personnel and transport positioning systems in mines is the most important factor in their uninterrupted operation, which, in turn, is one of the main factors in ensuring the safety of underground personnel. The availability of information about events (inoperability) of positioning readers allows decision-makers (DM) to draw conclusions about the need for routine or planned repairs of positioning systems or related systems and communication lines. The article discusses the principles and algorithms for collecting information in a distributed heterogeneous system from separate automated positioning systems (APS) into a single repository (database) for its further analysis by decision makers.

Keywords: accounting, events, decision-making methods, automated data collection

Общие сведения об автоматизированных системах позиционирования

Система позиционирования персонала и транспорта в шахте предназначена для применения в подземных выработках шахт и рудников, в том числе опасных по газу, пыли и внезапным выбросам в соответствии с «Правилами безопасности в угольных шахтах» ПБ 05-618-03, «Едиными правилами безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений ископаемых подземным способом» ПБ 03-553-03.

Шахта должна быть оборудована комплексом систем и средств, обеспечивающих решение задач организации и осуществления безопасного производства и информационной поддержки контроля, и управления технологическими и производственными процессами в нормальных и аварийных условиях - многофункциональной системой безопасности (МСБ) [1-3].

Многофункциональная система безопасности обеспечивает:

1. предотвращение условий возникновения различных видов опасности геодинамического, аэрологического и техногенного характера;
2. оперативный контроль соответствия технологических процессов заданным параметрам;
3. применение систем противоаварийной защиты людей, оборудования и сооружений.

Объектами контроля и управления, оценки и прогноза являются рудничная атмосфера, аэрологические параметры и состояние массива угля и горных пород, угольного массива, горные выработки, технологическое оборудование, персонал угольной шахты, системы и средства обеспечения промышленной безопасности.

В состав многофункциональной системы безопасности входят автоматические электрические, электронные и программируемые системы, обеспечивающие:

1. аэрологическую защиту:
 - система контроля и управления стационарными вентиляторными установками, вентиляторами местного проветривания и газоотсасывающими установками;
 - система контроля и управления дегазационными установками и подземной дегазационной сетью;
 - система аэрогазового контроля содержания кислорода, метана, оксида углерода, диоксида углерода и других вредных газов стационарными и индивидуальными средствами контроля;
 - система контроля пылевых отложений и управления пылеподавлением;
2. контроль состояния горного массива, контроль и прогноз внезапных выбросов и горных ударов:
 - система геофизических и сейсмических наблюдений;
 - региональный и локальный прогноз;
 - противопожарную защиту;
 - система обнаружения и локализации ранних признаков эндогенных и экзогенных пожаров;
 - система контроля и управления пожарным водоснабжением;
3. связь, оповещение и определение местоположения персонала:
 - система наблюдения и определения местоположения персонала в подземных выработках (позиционирование);
 - система аварийного оповещения с возможностью передачи сообщений об аварии персоналу независимо от его местонахождения до, во время и после аварии;

– система поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией, в том числе не подающих признаков жизни, находящихся за и/или под завалами, без опасности нанесения им повреждений при разборе завала при проведении спасательных и поисковых работ и ликвидации последствий аварии;

– система оперативной, технологической, громкоговорящей и аварийной подземной связи;

– система прямой телефонной и дублирующей ее альтернативной связи с аварийной горноспасательной службой, обслуживающей шахту.

На шахтах организован и осуществляется учет всех лиц, спустившихся в шахту и выехавших (вышедших) на поверхность, в соответствии с разработанной инструкцией, утвержденной руководством шахты.

Конкретный состав многофункциональной системы безопасности на различных этапах жизненного цикла шахты определяется проектом МСБ угольной шахты, утверждаемым пользователем недр при наличии положительного заключения экспертизы промышленной безопасности. Основные технические характеристики МСБ в угольных шахтах и входящих в её состав систем должны соответствовать требованиям технических регламентов или национальных стандартов по промышленной безопасности.

Сбор данных необходим для создания единой автоматизированной системы анализа и мониторинга зафиксированных событий в системах позиционирования персонала и транспорта на шахтах, которая в свою очередь предназначена для:

– контроля соблюдения ОТ и ПБ;

– формирования статистических показателей производительности системы позиционирования персонала и транспорта;

– рассылки уведомлений пользователям.

В целом для контроля состояния оборудования (считывателей) систем позиционирования необходим сбор следующих сведений по ним:

– количество считывателей;

– качество связи считывателей;

– работа считывателей от АКБ.

В настоящее время на шахтах широко применяются АСП следующих производителей ООО «Mine Radio Systems» (многофункциональная система безопасности «FlexCom»), ООО «Уральские Технологические Интеллектуальные Системы» (система позиционирования горнорабочих и транспорта «СПГТ-41»). Рассмотрим принципы сбора данных на примере этих систем.

Основные принципы сбора данных о зафиксированных событиях в АСП

АСП «FlexCom» и «СПГТ-41» имеют базы данных для хранения информации о состояниях оборудования. АСП «FlexCom» использует СУБД MySQL, а СПГТ-41 - СУБД FireBird. Структуры этих баз различны, но принцип хранения условно одинаковый. Однако системы предоставляют разный набор данных, который можно собрать и проанализировать.

АСП «Flexcom» предоставляет следующие данные: название считывателя, показатель качества связи считывателя, дата и время события, название светильника, владелец светильника, дата и время события светильника.

АСП «СПГТ-41» предоставляет более расширенную информацию: название считывателя, дата и время события, отказ считывателя, восстановление считывателя; обрыв линии, восстановление линии, цепь антенны исправна; цепь антенны оборвана; цепь антенны короткозамкнута, работа от батареи источника питания, нормальная работа источника питания; название светильника, владелец светильника, дата и время события светильника.

Одним из важнейших показателей для анализа является показатель статуса считывателя (исправен/неисправен).

Предлагается: для АСП «Flexcom» статус считывателя определять по показателю качества связи %Rx. Событие «считыватель исправен» является дискретным и регистрируется по условию: если (суммарное время, когда %Rx \geq «нормы качества связи %Rx») \geq

нормы «Время работы считывателя», то считыватель исправен.

Например, если показатель качества в течение суток был $\%Rx \geq 35\%$ в течение 12 часов (уставка 50 %), то считыватель определяется исправным.

Событие «считыватель не исправен» является дискретным и регистрируется по условию: если (суммарное время, когда $\%Rx \geq$ «нормы качества связи $\%Rx$ ») < нормы «Время работы считывателя», то считыватель не исправен.

Для АСП «СПГТ-41» статус считывателя определять по событиям «отказ считывателя» или «неисправность антенны».

Событие «считыватель исправен» является дискретным и регистрируется по условию: если не зафиксированы события «отказ считывателя» И «неисправность антенны», то считыватель исправен.

Событие «считыватель не исправен» является дискретным и регистрируется по условию: если зафиксировано событие «отказ считывателя» ИЛИ «неисправность антенны», то считыватель не исправен.

Постановка задачи сбора данных о зафиксированных событиях в АСП

Дано: распределенная гетерогенная система с множеством АСП (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 АСП в единое хранилище (рисунок 1).

Ограничения: структура БД должна находиться в третьей «нормальной» форме реляционной БД. СУБД должна отвечать требованиям безопасности, отказоустойчивости.

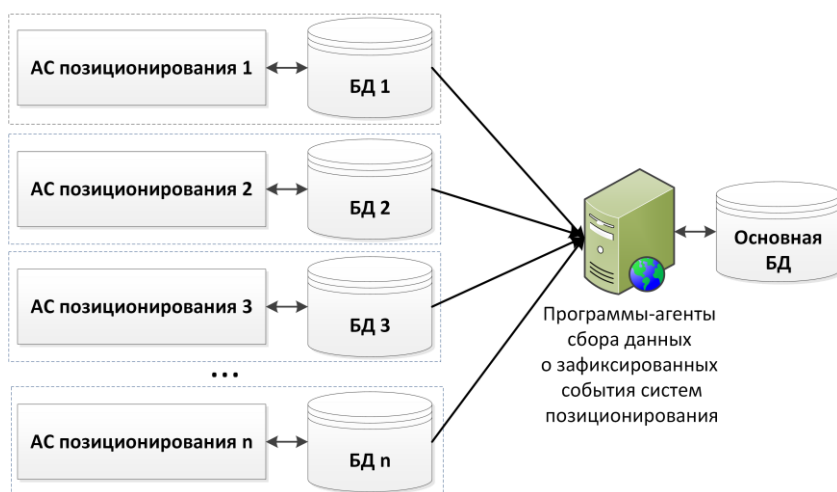


Рисунок 1 – Схема сбора данных о событиях систем позиционирования

Практическая реализация поставленных задач

Подобные задачи по сбору однородной информации в распределенной гетерогенной системе успешно решались разными способами. Например, в [4] предложено использование стандартных программных средств для сбора и отображения оперативной информации для системы визуализации конвейерного транспорта. В ходе решения задачи в данном проекте использовался подход, аналогичный описанному в [5], и заключающийся в создании специализированного программного обеспечения, выполняющего функции сбора, хранения, анализа и отображения пользователю информации.

Для реализации поставленной задачи необходимо, в первую очередь, разработать БД, подходящую для сбора информации событиях считывателей из любой АСП.

Предлагается использовать СУБД MS SQL Server версии не ниже 2005. В дальнейшем структура таблиц будет описываться в терминах MS SQL Server.

Предлагаемая схема данных главной БД приведена на рисунке 2.

В таблице «События» собираются сведения по следующим типам событий считывателей:

- напряжение, В;
- качество связи, %;
- антенна считывателя неисправна;
- обрыв линии связи;
- работа от АКБ.

В таблице «Качество_связи» хранятся сведения о качестве связи (в относительных единицах) по каждому считывателю в разрезе времени. По этому показателю можно судить о работоспособности считывателя. В таблице «Статистика_по_считывателям» хранится обобщенная информация о работоспособности считывателей по каждой шахте в разрезе времени.

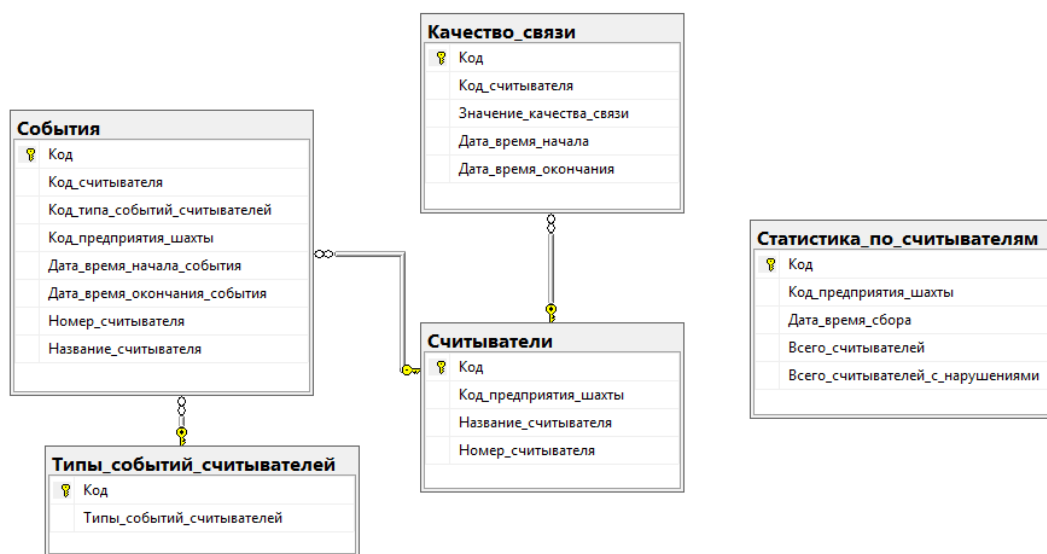


Рисунок 2 – Предлагаемая (упрощенная) схема данных основной БД

В рамках выполнения проекта были разработаны программные агенты для сбора данных о зафиксированных событиях по считывателям из АСП (язык программирования: С#). Укрупненный алгоритм работы программ-агентов следующий:

6. Производится подключение к главной БД согласно строке подключения, прописанной, например, в INI-файле настроек программы.
7. Производится чтение информации (настроек) об АСП, код которой прописан, например, в INI-файле настроек, в главной БД.
8. Подключение к БД АСП и синхронизация справочников считывателей БД АСП и главной БД.
9. Проверка новых данных о событиях с момента прошлого подключения, загрузка этих данных (с разделением на необходимые типы) в главную БД с предварительной обработкой на продолжительность событий.
10. Сохранение метки времени последнего события для следующего цикла загрузки.

Также были разработаны отчетные формы в виде веб-приложения (язык программирования С#, ASP.NET MVC).

Заключение

В статье приведена общая информация о наиболее распространенных МБС (АСП). Поставлена задача разработки единой системы учёта зафиксированных событий МБС различных производителей, имеющих в рамках своих АСП различные СУБД и БД различной структуры. В рамках решения задачи предложен вариант структурной схемы единой системы сбора информации о событиях. Выделены сущности, характеризующие события, и их атрибуты; разработана схема данных, отражающая отношения между сущностями.

Библиографический список

1. Грачев А.Ю., Новиков А.В., Гоффарт Т.В., Урусов Л.В. Многофункциональные системы безопасности и позиционирование персонала в шахтах // Горная промышленность. 2016. №2 (126). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnye-sistemy-bezopasnosti-i-pozitsionirovanie-personala-v-shahtah> (дата обращения: 05.11.2021).
2. Грачев А.Ю., Новиков А.В., Паневников К.В., Терехов Д.Б. МФСБ в угольной шахте - позиционирование и оповещение персонала // Вестник Научного центра. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mfsb-v-ugolnoy-shahte-pozitsionirovanie-i-opoveschenie-personala> (дата обращения: 05.11.2021).
3. Жуков М.О., Иванов А.Е., Мацко А.В., Меркулов И.В., Нарымский Б.В. Система наблюдения и оповещения персонала угольных шахт. Состояние и перспективы развития // ЖВТ. 2013. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-nablyudeniya-i-opovescheniya-personala-ugolnyh-shaht-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 05.11.2021).
4. Коровин Д.Е., Ляховец М.В., Иванов Д.В. Разработка системы сбора оперативной информации для системы визуализации конвейерного транспорта // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды XII Всероссийской науч.-практич. конф. / Под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – С.85-88.
5. Койнов Р.С., Ляховец М.В., Добрынин А.С. Особенности учета простоев технологических линий поточно-транспортных систем // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды XI Всероссийской науч.-практич. конф. / Под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – С.178-184.

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ СЕРВЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АСУТП ОФ «ШАХТА №12» НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ КЛАСТЕРА ВЫСОКОЙ ДОСТУПНОСТИ

Кулюшин Г.А.^{1,2}, Грачев В.В.^{1,2}, Раскин М.В.², Иванов Д.В.², Макаров Г.В.^{1,2}

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

²ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются технологии резервирования, применяемые к серверному оборудованию автоматизированной системы управления технологическим процессом обогатительной фабрики «Шахта №12» (г. Киселевск). Описана архитектура кластера VMware vSphere High Availability, состоящего из двух физических серверов и отвечающего за высокую доступность важнейших узлов систем оперативно-диспетчерского управления и централизованного хранения данных.

Ключевые слова: автоматизированная система управления технологическим процессом, резервирование, виртуализация, серверное оборудование, отказоустойчивость, обогатительная фабрика.

Abstract. The article discusses the redundancy technologies applied to the server equipment of the automated process control system of the coil preparation plant of "Shakhta No. 12" (Kiselevsk). There is described the architecture of the VMware vSphere High Availability cluster consisting of two physical servers responsible for high availability of the most important nodes of operational dispatch management systems and centralized data storage.

Keywords: automated process control system, redundancy, virtualization, server equipment, fault tolerance, coil preparation plant.

Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к современным автоматизированным системам управления технологическим процессом (АСУ ТП), является обеспечение надежности функционирования данных систем. С этим требованием напрямую связаны

технико-экономические показатели и показатели безопасной работы всего автоматизированного промышленного комплекса:

1) минимизация простоев оборудования сокращает экономические потери, получаемые за тот период, когда технологический объект потенциально мог производить продукцию, но по техническим причинам сбоев АСУ ТП простаивал;

2) реализация функции непрерывного оперативно-диспетчерского управления важна для обеспечения нормального режима работы автоматизированного промышленного комплекса, целостности технологических установок, а также для безопасности здоровья и жизни производственного персонала.

Современная АСУ ТП является достаточно гибкой, является модульной и территориально распределенной. Для обеспечения стабильности функционирования АСУ ТП в последнее время применяются системы виртуализации, обеспечивающие высокую доступность модульных подсистем, в том числе SCADA-систем, на основе технологий резервирования.

В рамках создания автоматизированной системы управления технологическим процессом углеобогатительной фабрики ООО «Шахта №12» (г. Киселевск, Кемеровская обл.) была решена задача разработки высоконадежного комплекса программно-технических средств АСУ ТП, представленного кластером серверов с централизованным управлением, обеспечивающего высокую доступность системных модулей.

Описание применяемого программного обеспечения

В качестве базового ПО системы виртуализации АСУ ТП ОФ «Шахта №12» используется платформа vSphere версии 6.7 от компании VMware (США), являющейся лидером рынка программного обеспечения для виртуализации. Данная платформа содержит в себе следующие программные компоненты (рисунок 1) [1]:

1. Гипервизор VMware ESXi, который является системной оболочкой, устанавливаемой на физическое оборудование, для развертывания группы виртуальных машин VM.

2. Приложение VMware vCenter Server для централизованного администрирования системы виртуализации, конфигурации кластерных решений и мониторинга работы всех узлов системы в единой консоли клиента VMware vSphere Client на основе HTML5.

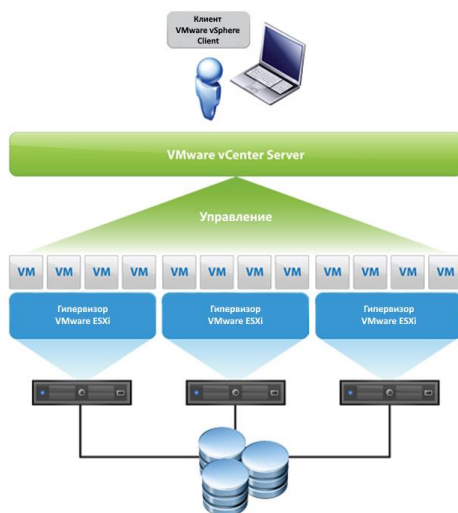


Рисунок 1 – Архитектура системы виртуализации vSphere

В рамках реализации кластера высокой доступности на обогатительной фабрике «Шахта №12» используется редакция VMware vSphere Essentials Plus, позволяющая лицензировать сразу три физических хоста с ограничением по наличию не более двух процессоров на каждом. Также в набор входит лицензия для vCenter Server for Essentials. Данная редакция предоставляет следующие возможности и компоненты, обеспечивающие высокую надежность, функциональность и доступность АСУ ТП:

– *vSphere High Availability* обеспечивает экономичный автоматический перезапуск

за несколько минут для всех приложений при отказе оборудования или ОС;

– *vSphere vMotion* обеспечивает перенос работающих виртуальных машин по серверам без прерывания работы пользователей или обслуживания, что устраняет необходимость в планировании простоев приложений для обслуживания серверов [2].

Описание используемого технического обеспечения. Разработанный серверный кластер (рисунок 2) состоит из двух физических хостов виртуализации: ведущий/основной Srv1 и ведомый/резервный Srv2, на которых размещаются 5 виртуальных машин [3]:

– IAS1: основной сервер объектов Wonderware Application Server, основной сервер ввода-вывода Device Integration Server, Kepware OPC Server;

– IAS2: резервный сервер объектов Wonderware Application Server, резервный сервер ввода-вывода Device Integration Server, Kepware OPC Server;

– IDE (DG): сервер разработки Wonderware Development Studio, программное обеспечение подготовки отчетности Dream Report;

– History (HS): сервер предыстории Historian Server;

– GR: сервер лицензирования, хранилище проекта Galaxy Repository.

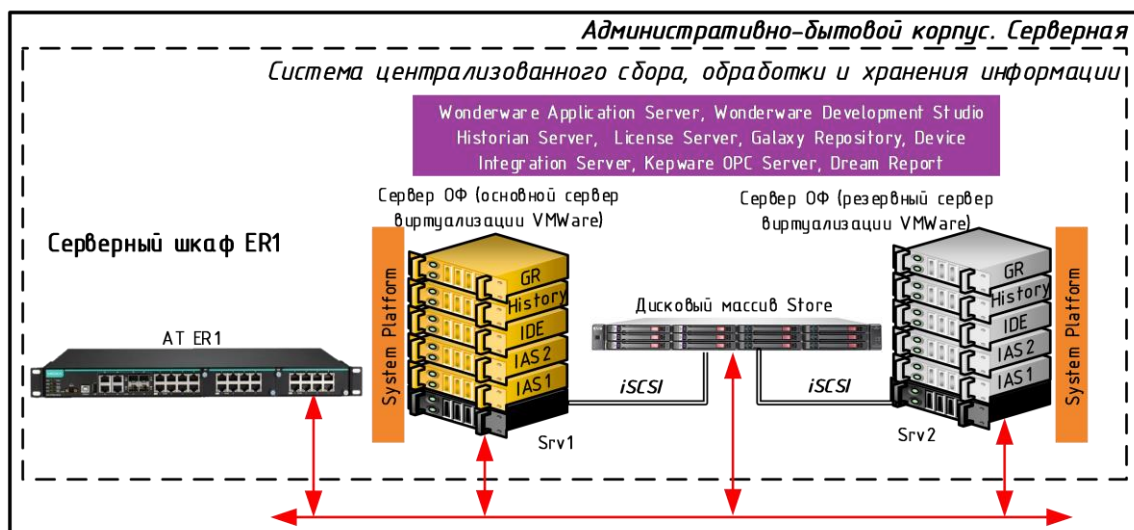


Рисунок 2 – Система централизованного сбора, обработки и хранения информации АСУ ТП ОФ «Шахта №12», реализованная на основе серверного кластера

Конфигурации серверных машин идентичны (таблица 1): каждый из серверов представлен моделью HPE Proliant DL360 Gen10 стоечного (rack) исполнения производства компании Hewlett Packard (США).

Таблица 1 – Технические характеристики сервера HPE Proliant DL360 Gen10

Наименование характеристики	Показатель
Число процессорных сокетов, шт.	2
Модель процессора	Intel Xeon Silver 4114
Количество ядер на процессор, шт	10 (20 процессорных потоков)
Тактовая частота, ГГц	2,2 – номинальная (3 – ускоренная)
Тактовая частота оперативной памяти (ОЗУ), МГц	2666
Объем установленной ОЗУ, Гб	80
Количество сетевых интерфейсов, шт.	4 x Broadcom Corporation NetXtreme BCM5719 Gigabit Ethernet (LAN RJ-45; 1Гбит/с) 2 x Intel(R) Ethernet Controller X710 for 10GbE SFP+ (Storage iSCSI; 10Гбит/с)

При выходе из строя основного сервера виртуализации происходит автоматическая миграция его виртуальных машин на резервный сервер Srv2. В данном случае происходит переключение операционной системы виртуализации с переносом всех виртуальных машин на второй сервер, обращаясь к файлам с общего дискового массива по протоколу iSCSI. Такой вариант резервирования обеспечивает высокую доступность системы и сохранность данных, минимизируя потерю производственной информации. В штатном режиме поставщиком производственных данных реального времени для АРМов диспетчера является виртуальный сервер IAS1 физического сервера ОФ. В случае выхода виртуального сервера IAS1 из строя происходит автоматическое переключение на резервный сервер IAS2, находящийся в «горячем» резерве, что исключает простои оборудования и потерю производственной информации. Переключение диспетчерских АРМов на резервный виртуальный сервер происходит без пауз и задержек [4].

В качестве хранилища файлов применяется кластерная файловая система VMFS на базе дискового массива HPE MSA 1050 от компании Hewlett Packard. Для подключения с серверными машинами применяется интерфейс iSCSI, который обеспечивает высокую скорость обмена файлами виртуальных машин между файловым хранилищем и серверами виртуализации.

Решения по реализации кластера физических серверов. Создание и настройка кластера высокой доступности возможна при помощи модуля vCenter Server, который установлен, как серверное приложение, на виртуальную машину GR. В дальнейшем это позволило обращаться к данному приложению через любую станцию, размещенную в том же сетевом пространстве и оснащенную браузером, поддерживающим язык HTML5.

При авторизации под пользователем, обладающим теми или иными правами доступа, vSphere Client предоставляет функции, соответствующие присвоенным ролям. На рисунке 3, в области меню Hosts and Clusters, отображена иерархическая структура vCenter-сервера GR с присвоенной ему рабочей областью OFSH12, в которой реализуется кластер высокой доступности с включенным режимом vSphere HA. Для данного кластера присваиваются физические хосты по их IP-адресам с развернутыми виртуальными машинами.

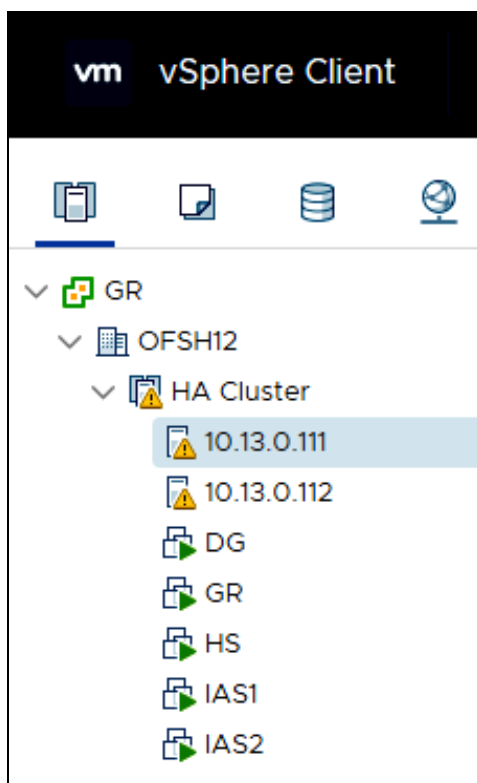


Рисунок 3 – Дерево кластера высокой доступности

Настройки кластера (рисунок 4) выбирались таким образом, чтобы обеспечить баланс между стабильностью и скоростью восстановления системы в случае сбоя.

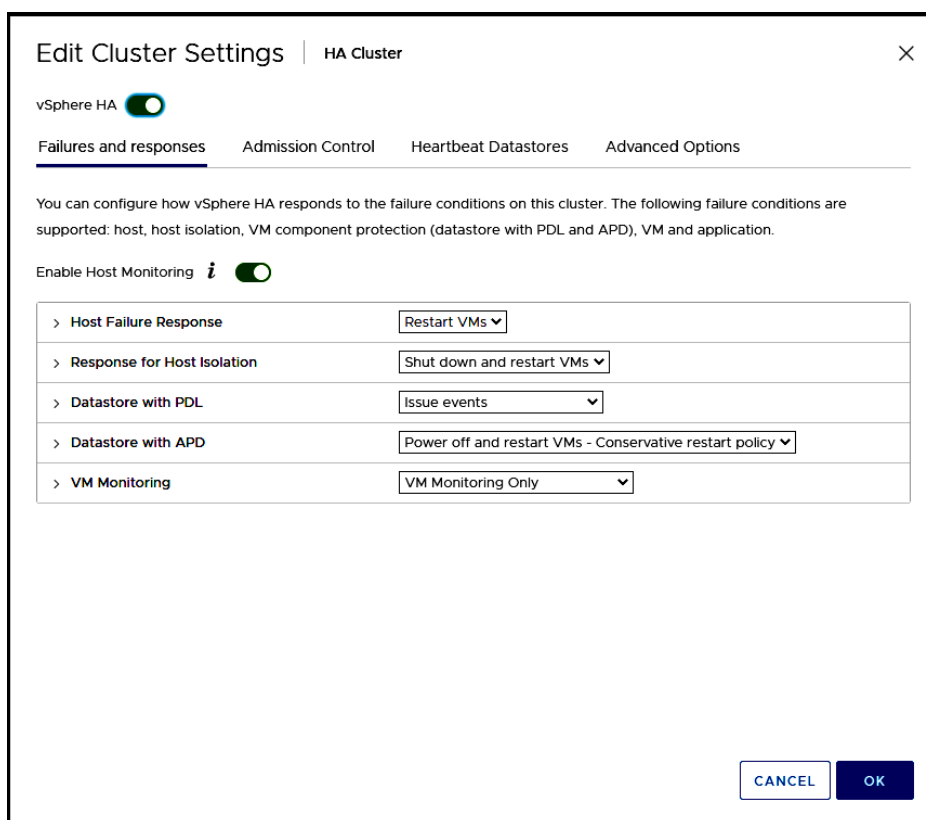


Рисунок 4 – Поле конфигурации кластера высокой доступности

Для обеспечения резервирования узлов в рамках функционирования кластера, были проведены мероприятия по выделению избыточных резервных каналов связи (рисунок 5).

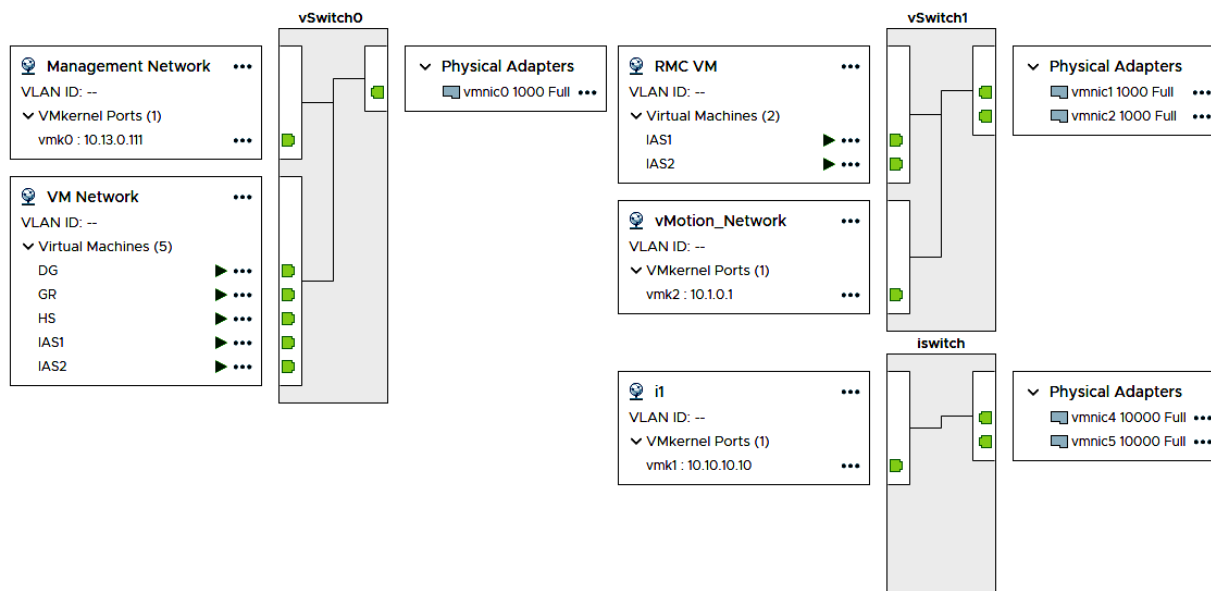


Рисунок 5 – Конфигурация сетевых подключений физических хостов

Каждый физический сервер соединяется с дисковым массивом по двум сетевым адаптерам iSCSI (vmnic4 и vmnic5). Это необходимо для повышения надежности каналов передачи файлов виртуальных машин в случае непредвиденного отказа или ухудшения работы канала связи (перебой шины iSCSI, нарушение функционирования самого сетевом-

го адаптера). Аналогичным образом была организована резервная линия (виртуальный свитч vSwitch1) сети управления с использованием дополнительных каналов связи (vnic1 и vnic2), необходимых в первую очередь для работы утилиты vMotion. Данная процедура позволила снизить вероятность возникновения события, называемого «изоляцией хоста»: в случае, когда хост находится в «сетевой изоляции», сервисы (агенты высокой доступности) кластера, размещенные в гипервизорах физических хостов, могут однозначно интерпретировать ситуацию, как выход из строя ведущего сервера кластера. Данное решение приводит к нежелательному исходу, когда виртуальные машины дублируются на резервном сервере, то есть одновременно будут запущены две активные копии каждой виртуальной машины.

Заключение. Использование технологий резервирования кластеризации физических серверов позволило повысить надежность и эффективность работы АСУ ТП ОФ «Шахта №12».

При такой реализации кластера высокой доступности отсутствует необходимость в ручной перезагрузке серверов, время автоматического восстановления при аппаратном сбое составляет около 10 минут. Для снижения времени восстановления системы возможно применение инструментов «горячего» резервирования, например, включение функции vSphere Fault Tolerance, позволяющая сократить время восстановления системы до 30-50 секунд.

Библиографический список

1. Как работает виртуализация VMware: платформа vSphere, приложение vCenter Server и гипервизоры ESX и ESXi [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. – Россия – URL: https://market.cnews.ru/news/top/2020-06-03_gipervizory_vmware_vspherevcenter/, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 23.10.2021)

2. Технический проспект VMware. Наборы VMware vSphere Essentials Kit [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. – Россия – URL: <https://www.vmware.com/files/ru/pdf/products/vsphere/Vmware-vSphere-Essentials-Plus-Datasheet.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 23.10.2021).

3. Шипунов, М. В. Система автоматизации управления обогатительной фабрикой ООО "Шахта №12" / М. В. Шипунов, В. В. Грачев, К. А. Ивушкин [и др.] // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019: Труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 28–30 ноября 2019 года / под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2019. – С. 186-192.

4. Кулюшин Г. А. Создание резервируемой инфокоммуникационной сети АСУ ТП ОФ «Шахта №12» / Г. А. Кулюшин, Д. В. Иванов, Д. Е. Коровин, В. В. Грачев, С. Ю. Коршунов // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды V Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 14 апреля 2021 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 291-295.

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОЧНО-СИНХРОННОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОУГОЛЬНОМ РАСТВОРЕ

Немцев А.Ю., Калашников С.Н.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, alexg02r02l@gmail.com, s.n.kalashnikov@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена клеточно-автоматному моделированию на основе класса клеточных автоматов с окрестностью Марголуса в однотактном исполнении. Выполнено моделирование динамических процессов в газоугольном растворе: конвекция, направленная в сторону прилегающей выработки; диффузия; равновесная сорбция. Для организации подобным родом динамических процессов метод клеточно-автоматного моделирования был дополнен методом Монте-Карло.

Ключевые слова: клеточно-автоматное моделирование, клеточных автоматов с окрестностью Марголуса в однотактном исполнении, метод Монте-Карло, динамические процессы, диффузия, равновесная конвекция, сорбция, газоугольный раствор.

Abstract. The study is devoted to cellular automaton modeling based on a class of cellular automata with a Margolus neighborhood in a single-stroke version. Dynamic processes in a gas-coal solution are simulated: convection directed towards the adjacent mine; diffusion; equilibrium sorption. To organize such kind of dynamic processes, the cellular automaton modeling method was supplemented by the Monte Carlo method.

Keywords: cellular automaton modeling, cellular automata with Margolus neighborhood in one-stroke execution, Monte Carlo method, dynamic processes, diffusion, equilibrium convection, sorption, carbon-gas solution.

Введение

Во многих случаях необходимо учитывать внутренние свойства материала, среди которых главные: морфология среды и характер взаимодействия стенок пор с проходящим через них газом или жидкостью. Использовать для представления морфологии материала на микроуровне, то есть имитировать прохождение газа или влаги через все извилины и преграды в толще материала [1] математическими моделями, основанными на дифференциальных уравнениях в частных производных, невозможно из-за трудно описываемых непрерывными функциями границ пор. Так как вычислительные мощности современных суперкомпьютеров позволяют решить эту задачу с помощью клеточных автоматов. Поэтому в данной статье предлагается вероятностный клеточный автомат, конфигурация которого имитирует три вида движений абстрактных частиц: конвекцию под действием внешней силы, диффузию (растекание) и взаимодействие со стенками (равновесная сорбция). Эту модель можно считать аналогичной диффузионно-конвекционной модели пористой среды, основанной на системе дифференциальных уравнений конвекция-диффузия [2, 3]. Объект исследования это газоугольный раствор находящийся в неразгруженный угольный пласт с прилегающей выработкой представляет собой газоносную пористую систему (дисперсную систему) с замкнутыми порами. Данная система состоит из среды твердое тело (газоугольный раствор) и фазы свободный газ (пора). Угольное вещество накапливает метан в различных формах: газ, находящийся в свободном состоянии внутри дефектов сплошности – 2-12 %; газ, адсорбированный на поверхностях дефектов сплошности – 8-16 %; газ, распределенный в межмолекулярном пространстве (собственно твердый газоугольный раствор) – 70-80 %; химически сорбированный газ 1-2 %; газ в клатратоподобных структурах – 1-3 % [4].

Алгоритм функционирования клеточно-автоматной модели

Клеточный автомат (КА) может мыслиться как стилизованный мир, в котором пространство представлено равномерной сеткой, а каждая клетка кодируется конечным числом битов, время дискретно [5]. Законы перехода состояний клетки, определяют состояние каждой клетки на текущем шаге по ее состоянию и состоянию ее соседей на предыдущем шаге по времени. Соседние клетки образуют ее окрестность. КА с окрестностью Марголуса [6] – состояния клеток: 0 или 1; на каждом такте: вся область

разбивается на блоки по 4 клетки, клетки блока меняются состояниями равновероятно по или против часовой стрелки, итерация состоит из двух тактов четного и нечетного; два способа обработки крайних клеток: замыкание (тор), не обрабатываются. КА с окрестностью Марголуса может быть преобразован в обычный КА. На рисунке 1 изображены: окрестность Мура; Фон Неймана; окрестности Марголуса: в двух и однотактном исполнении. Клетка, которая вместе со своими соседними серыми клетками создающая окрестность выделена черным цветом. На рисунке 2 проиллюстрировано изменение состояний в двух и однотактном исполнении КА с окрестностью Марголуса.

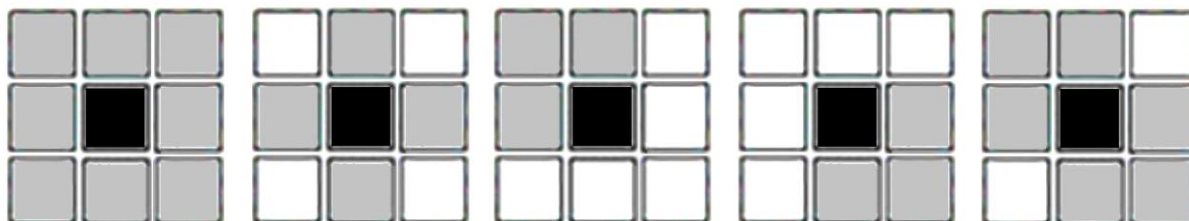


Рисунок 1 – Окрестность Мура, Фон Неймана, эквивалентная окрестности Марголуса, Марголуса в однотактном исполнении

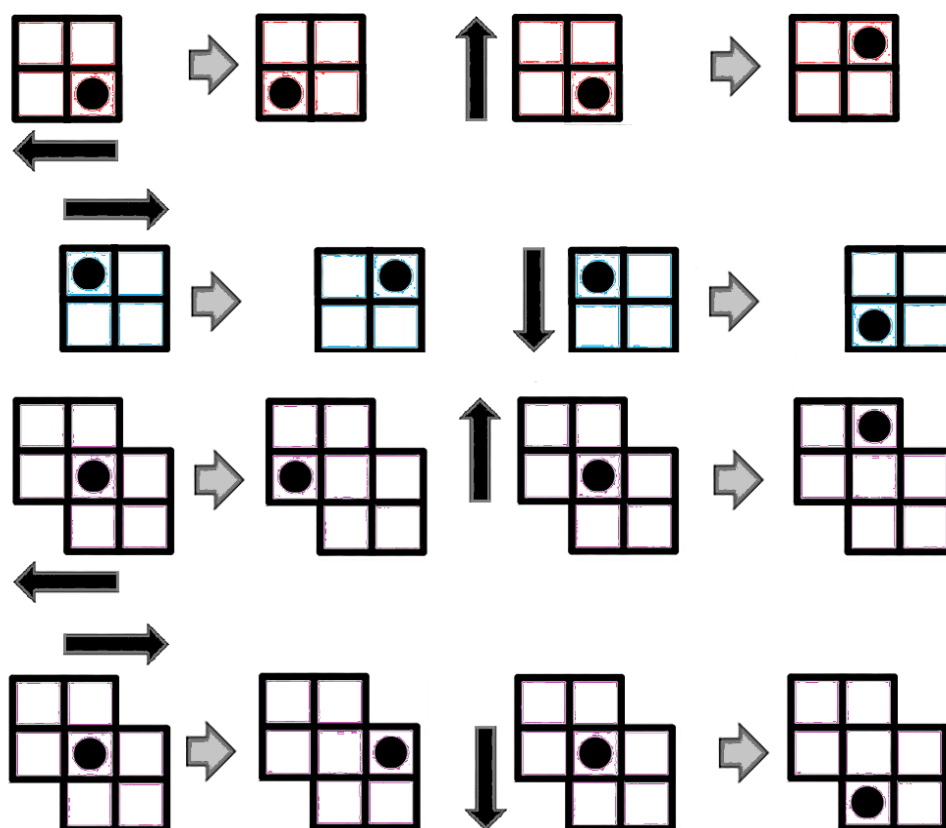


Рисунок 2 - Изменение состояния клетки пересечения двух блоков по и против часовой стрелки в верхнем или нижнем блоке

На рисунке 3 изображена схема разбиения массива клеток КА с окрестностью Марголуса в двухтактном исполнении, со способом обработки крайних клеток – замыкание, и однотактное исполнение со способом обработки крайних клеток – замыкание. Замыкание реализуется не изменением функции перехода крайних клеток, а дополнительным контуром из клеток конфигурация которого зависит от окрестности КА, с помощью этого контура можно задать внешние краевые условия и обработку краевых клеток: приток энергии контур равен 1; отток энергии контур равен 0; не обрабатывается (изолиро-

ван) равен граничащими с контуром клеток; замыкание (тор) однородная среда равен граничащими с контуром клеток с обратной стороны.

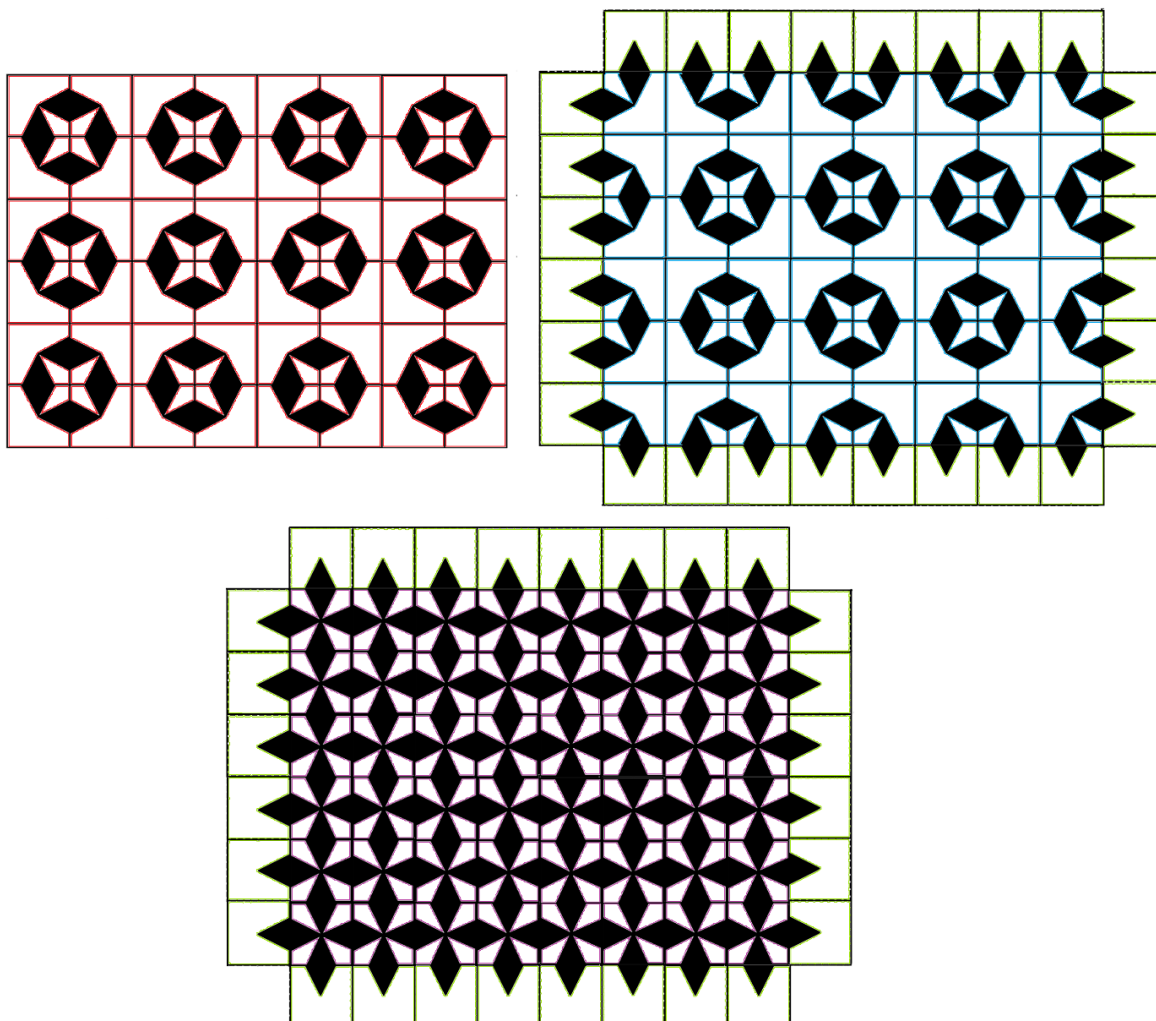


Рисунок 3 - Схема разбиения массива клеток КА с окрестностью Марголуса в двухтактном исполнении, с обработкой крайних клеток – замыкание и однотактном исполнении, с обработкой крайних клеток – замыкание

Алгоритм КА-моделирования кинетики газовой выделения в конечном объеме угля (рисунок 4) – КА с множеством имен $M = \{(i, j) : i = 0, 1, \dots, g; j = 0, 1, \dots, l\}$ и с шаблоном соседства $T(i, j) = \{(i, j), (i+1, j), (i+1, j+1), (i, j+1)\}$. Функция $v(i, j)$ может рассматриваться как булев клеточный массив $\Omega_b = \{(v_m, m)\}$ в котором клетка - это пара символов (v_m, m) , где v_m – переменная состояний, а $m \in M$ - имя клетки из множества имен M , обозначенных парой координат (i, j) в случае 2D-декартова пространства, а в общем случае - одним символом m . Область значений переменных состояний $v_m \in B$, где $B = \{0, 1\}$ – алфавит состояний. Применение $\theta(m)$ ко всем $m \in M$ называется глобальным оператором и обозначается $\theta(M)$. Применение $\theta(M)$ изменяет глобальное состояние $\Omega(t)$ на новое $\Omega(t + 1)$. Такое изменение составляет итерацию. Итерация может выполняться разными способами, которые называются режимами функционирования КА. Основными из них являются: синхронный и асинхронный.

При синхронном режиме на каждой t-й итерации выполняется следующее:

1) для всех $(v, m) \in \Omega(t)$ вычисляются новые состояния $v_0(m)$ путем применения к ним функции перехода;

- 2) во всех клетках $(v, m) \in \Omega(t)$ производится замена состояний $v(m)$ на новые $v_0(m)$;
- 3) $\Omega(t) \rightarrow \Omega(t + 1)$.

Асинхронный режим предполагает следующий порядок применений локального оператора:

- 1) с вероятностью $p = 1/|M|$ выбирается клетка $(v, m) \in \Omega$;
- 2) к выбранной клетке применяется локальный оператор $\theta(m)$, и состояния клеток немедленно меняются на новые значения;
- 3) условно принимается, что $|M|$ повторений пп.1 и 2 составляет одну итерацию, такое соглашение удобно для сравнения синхронного и асинхронного режимов и соответствует понятию одного шага кинетического метода Монте-Карло [7].

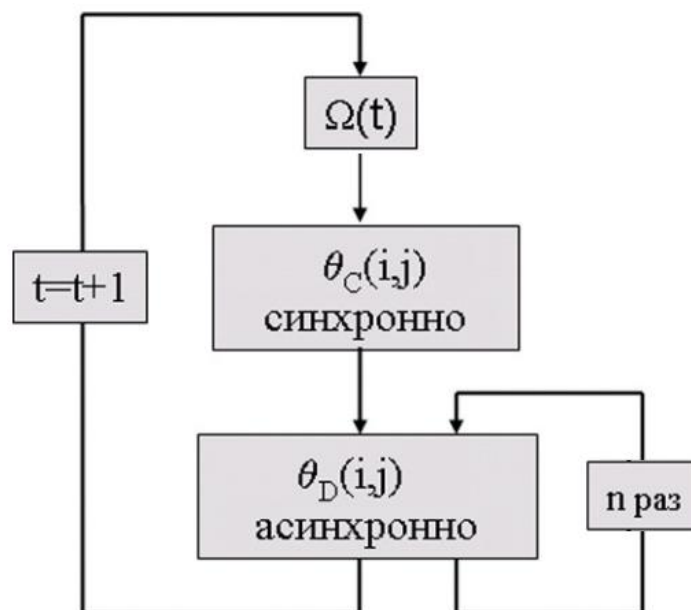


Рисунок 4 - Алгоритм моделирования кинетики газовыделения в конечном объеме угля

Правило перехода для свободного газа имеет вид:

$$(v_g(i, j)) = \begin{cases} (1, (i, j)), & \text{если } rand < p_g, \\ (0, (i, j)), & \text{если } rand \geq p_g, \end{cases}$$

где $p_g \leq \frac{1}{2}$ – вероятность наполненности клетки молекулой газа $(v_g(i, j))$ для всего массива свободного газа. Чем больше p_g тем больше давление свободного газа.

Пример одного из правил перехода (остальные могут быть построены по аналогии) для диффузии газа в твердом теле без учета граничного условия, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \theta_D(i, j) : & \{(v_4(i-1, j)), (v_5(i-1, j-1)), (v_6(i, j-1)), \\ & , (v_0(i, j)), (v_1(i+1, j)), (v_2(i+1, j+1)), (v_3(i, j+1))\} = \\ & \{(v_4(i-1, j)), (v_5(i-1, j-1)), (v_6(i, j-1)), \\ & , (v_3(i, j)), (v_0(i+1, j)), (v_1(i+1, j)+1), (v_2(i, j+1))\}. \end{aligned}$$

где $\theta_D(i, j)$ – оператор диффузии газа в твердом теле.

Реализуется однократная реализация КА с окрестность Марголуса, где с помощью *rand* – случайного число в интервале (0,1) и $p_r \leq \frac{1}{2}$ вероятность равновероятная для обоих тактов верхнего и нижнего блока (правило перехода для второго такта строится по аналогии), а $p_d \leq \frac{1}{2}$ – вероятность взаимодействия клетки $(v_0(i, j))$ с клетками соседями для твердого тела при диффузии, т.е. поворот равновероятный по или против часовой стрелки. Ряд наиболее известных КА-моделей диффузии описан в [8]. Там же впервые получена величина коэффициента диффузии для этой КА-модели, который в двумерном случае $D = \frac{3}{2}$. Строгое доказательство соответствия КА-представления диффузии дифференциальному уравнению Лапласа дано в [9] для КА с окрестностью Марголуса. При $p_d \leq \frac{1}{2}$ коэффициент диффузии $D = \frac{3}{2}$. Изменяя величину вероятности p_d , можно моделировать процесс диффузии в широком диапазоне [10].

Пример одного из правил перехода (остальные могут быть построены по аналогии) для диффузии газа в твердом теле на границе со свободным газом, т.е. с учетом граничного условия, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Theta_D(i, j) : & \left\{ (v_4(i-1, j)), (v_5(i-1, j-1)), (v_6(i, j-1)), \right. \\ & \left. (v_0(i, j)), (v_G(i+1, j)), (v_G(i+1, j+1)), (v_3(i, j+1)) \right\} = \\ & \left\{ (v_4(i-1, j)), (v_5(i-1, j-1)), (v_6(i, j-1)), \right. \\ & \left. (v_3(i, j)), (v_G(i+1, j)), (v_G(i+1, j)+1), (v_0(i, j+1)) \right\}. \end{aligned}$$

Правило перехода для конвекции газа в твердом теле без и с учетом граничных условий имеющие следующий вид:

$$\Theta_C(i, j) : \begin{cases} \left\{ (v_0(i, j)), (v_1(i+1, j)) \right\} \xrightarrow{p_c} \left\{ (v_1(i, j)), (v_0(i+1, j)) \right\}, \\ \left\{ (v_2(i, j)), (v_2(i+1, j)) \right\} \xrightarrow{p_c} \left\{ (v_2(i, j)), (v_2(i+1, j)) \right\}. \end{cases}$$

где $\Theta_C(i, j)$ – оператор диффузии газа в твердом теле,

p_c – вероятность взаимодействия клетки $(v_0(i, j))$ с клетками соседями для твердого тела при конвекции. Вероятность p_c принимается равной или близкой к 1, так как это самое быстрое действие. Меняя координаты соседней клетки можно менять направления вектора скорости конвекции. Изменяя n -раз применение $\Theta_D(i, j)$ в каждой итерации настраивается отношение диффузии к конвекции.

Результаты вычислительного эксперимента

На рисунке 5 показаны результаты моделирования динамических процессов в газозольном растворе с 4 микропорами. Использована 2D-модель КА с окрестностью Марголуса в однократном исполнении, со способом обработки крайних клеток – замыкание. Размеры всего массива 16x16 клеток, один массив со свободным газом 4x4. На границах твердое тело – газ применялось условие. Клетки с толстыми черными границами твердое тело, клетки с тонкими границами твердое тело – газ, клетки с бледно серыми границами свободный газ. Серые клетки – наличие молекулы газа (заполненные), белые клетки – отсутствие молекулы газа (незаполненные).

Заключение

Соответствующий алгоритм решения уравнения применим для исследования других физических процессов, тепло- и электропроводности, магнитных и электромагнитных потоков и др. В таких компьютерных экспериментах наблюдается самоорганизация материи, и эта самоорганизация вытекает из локальных взаимодействий, правило которых задаются, а структура возникает сама.

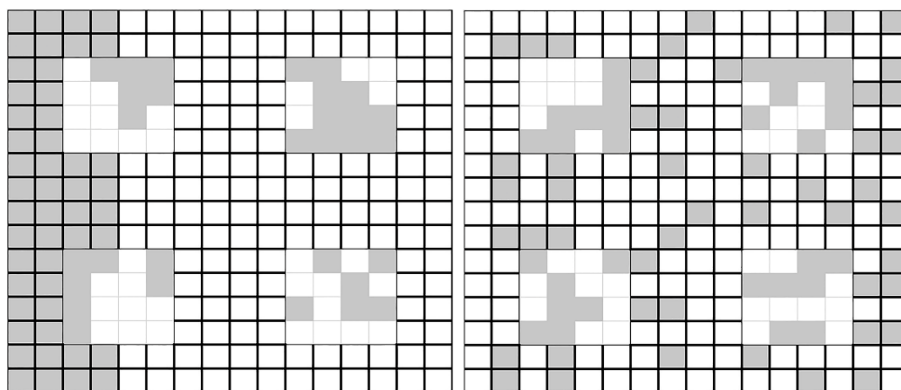


Рисунок 5 - Результаты моделирования динамических процессов в газоугольном растворе: начальное состояние; сто тринадцатый такт

Результаты проведенных численных экспериментов показали, что клеточные автоматы обладают рядом возможностей с точки зрения качественного моделирования газодинамических процессов. Разработанная методология компьютерного моделирования эволюции состояний конечного объема угля предусматривает использование клеточного автомата как инструмента для исследования.

Исполнение как двух тактов в одном такте, так и диффузии, и конвекции в одной не последовательной, а вероятностной суперпозиции упрощает запись и возможна к применению в других клеточных автоматах.

Использование дополнительных краевых клеток для реализации внешних краевых условий и способа обработки краевых клеток упрощает их замену, так как нужно заменить лишь их, вместо замены переходных функций краевых клеток, что удобнее и быстрее.

Библиографический список

1. Бандман О.Л. Клеточно-автоматный метод исследования свойств пористых сред // Сиб. журн. вычисл. матем. 2010. Т. 13. № 1. С. 1–13.
2. Немцев А.Ю., Калашников С.Н. Моделирование движения молекул газа в угольном пласте клеточным автоматом с окрестностью Марголуса в однотактном исполнении // Актуальные вопросы науки 2021. – 2021. – С. 33–38.
3. Немцев А.Ю., Калашников С.Н., Бабушкина О.С., Гаун М.А. Клеточно-автоматное моделирование кинетики газовыделения в конечном объеме угля // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7104
4. Кригман. Р.Н. Исследование в массиве газопроницаемости выбросоопасных пород // Уголь Украины. 1969. № 3. С. 44–45.
5. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир, 1971. 326 с.
6. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991. 278 с.
7. Jansen A.P.J. An Introduction to Monte-Carlo Simulation of Surface Reactions [arXiv:cond-mat/0303028v1](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0303028v1)[stst-mech]. 2003. 51 p.
8. Bandman O. Comparative study of cellular automata diffusion models // Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer. 1999. P. 395.
9. Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е. Моделирование диффузионных процессов клеточными автоматами с окрестностью Марголуса // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1998. Т. 36. № 6. С. 1017–1021.
10. Бандман О.Л. Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // Системная информатика. 2006. № 10. С. 59–113.

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ УЗЛА В СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЕ

Грачев А.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Управляющие системы будущего поколения вычислительных сетей будут представлять собой комплексную распределенную систему, в которой высокая надежность определяется скоростью и стабильностью узлов передачи. Прогнозирование состояния узла с целью своевременного принятия мер для его исключения из рабочего цикла для предотвращения возникновения неисправностей является актуальным. Исследование возможности замещения проводилось на основе компьютерной вычислительной сети. Наличие кластера оценивалось исходя из сетевой статистики. Параметры работы сети использовались в нормальном рабочем режиме.

Ключевые слова: моделирование, прогноз, распределенные сети связи, узлы связи, передача данных, компьютерная сеть.

Abstract. Control systems of the future generation of computer networks will be a complex distributed system, in which high reliability will be determined by the speed and stability of transmission nodes. Predicting the state of the unit with the aim of taking timely measures to The study of the possibility of substitution was carried out on the basis of a computer network. The presence of a cluster was assessed based on network statistics. The network parameters were used in normal operating mode.

Keywords: modeling, forecast, distributed communication networks, communication nodes, data transmission, computer network.

Введение

В современном мире опорные сети связи, системы общего назначения, пользовательская электроника и средства коммуникации изменяться качественно и все более интегрируются между собой, создавая единую распределенную сетевую структуру.

Развитие распределённых сетей связи и массовых коммуникации требует разработки подсистем самоорганизации сетевых распределённых структур. Чтобы разгрузить управляющий узел (администратора) необходима разработка автоматических управляющих систем, способных взять на себя решение рутинных задач. Но для это требуется определить состояния существующих узлов в сети и иметь возможность сделать прогноз их состояний в на ближайшую перспективу. В условиях структурной неопределенности, которая является основополагающим фактором сетей будущего поколения (пост-NGN), решение задачи затрудняет большое количество статистической информации, поступающей со стороны систем контроля сетевой структуры и требующей внимание администратора для принятия решения.

Общий подход к построению мат. моделей

Постоянная активная работа по передачи данных чаще всего проходит в непрерывном режиме. Это зависит от выполняемых задач, то есть узел может являться как исполнителем, так и средством, осуществляющим транзит.

Выделение узла-посредника - является носителем интеллектуальных возможностей сети, данный узел управляет трафиком, маршрутизацией и функции соединения через один узел сегментов сети.

В число функций узла-посредника по управления маршрутизацией входит:

Состояние узла - определение типа передаваемых данных их обработка и определения узла направления;

Опыт использования - определение эпизодов ухудшения работы и выхода из строя узлов.

Узел-посредник обеспечивает обмен трафиком между кластерами, поддерживая и существующие сетевые протоколы.

Выделение узла-посредника позволяет изменить влияние закрытую сетевой струк-

туру систем коммутации.

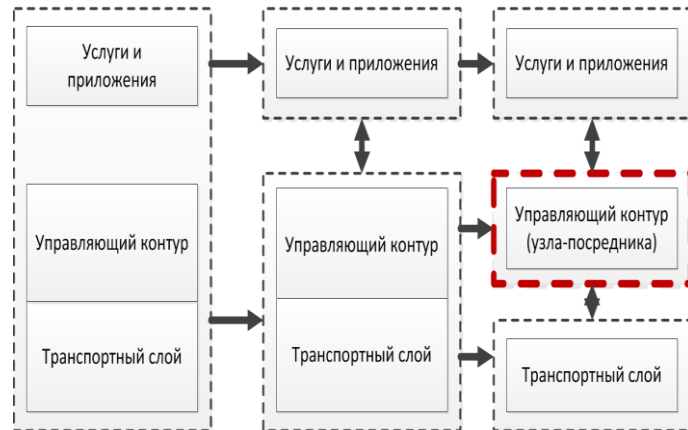


Рисунок 1 – Выделение узла-посредника.

Обычные используемые сетевые устройства в единой системе объединяют функции коммутации, управление обслуживанием, опираются на типы услуг передачи, также функции биллинга. Предлагаемый подход позволит разделить закрытую сетевую структуру, которая, как правило, не имеет запаса расширения или модернизации на базе уже используемого оборудования.

Предложенный подход использует в качестве объекта оценивания узел структуры с рядом параметров: $M = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
 где M - рейтинг узел;

x_1, x_2, \dots, x_n - совокупность характеристик узла;

$$M = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}), (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}), (x_{31}, x_{32}, \dots, x_{3n}), \dots, (x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{m1-n})$$

В задаче выделения узлов-посредников имеются ограничения, которые должны быть обязательно выполнены. Набор таких ограничений *мало изменяем* и зависит от технических параметров (hardware) устройств. *Примеры: максимальные скорости устройства.*

В задаче выделения узлов-посредников имеются ограничения, которые должны быть обязательно выполнены. Набор таких ограничений часто изменяем и фиксируется посредством программных ограничений (software). Такие ограничения *могут изменяться* даже в составе задач одного цикла работы системы. *Пример: необходимая доля свободного канала в зависимости от типа данных.*

Наборы жестких и мягких ограничений чаще всего противоречивы и не дополняют друг друга. Это значит, ограничения «софта» не имеют приоритета над «железом» не может быть выполнено первым.

Общая стратегия строится от *параметров железа (->)* к *программные ограничениям*, другими словами, менее приоритетный «софт» элемент не может превышать более приоритетные параметры железа.

Использование аппарата искусственной нейронной сети (АИНС)

В распределенных сетевых структурах характерно наличие *кластеров* – множеств, в которых существуют узлы, имеющие более тесные связи с ближайшими смежными узлами, по сравнению со всем остальным множеством. Это не значит, что именно эти узлы имеют лучшие технические характеристики для выбора из них узла-посредника. В условиях структурной неопределённости заранее невозможно предсказать состав, топологию и количество активных узлов в сетевой структуре.

Поэтому когда в сети задействовано большое количество узлов для передачи большого объёма данных, расчет ранга узла создает значительную нагрузку на вычислительные мощности. В таком случае целесообразно осуществить прогноз состояния узла с помощью АИНС.

В качестве входов подаётся пять характеристик каждого узла из выборки.

Тип обучения: с обратным распространением ошибки. Метод обучения: стохастического градиентного спуска. Число слоев: 5. Число нейронов: 5. Выход: 1. Обучающая выборка: 80%. Валидационная выборка: 20%.

Таблица 1 – Ошибки обучения ИНС

Показатели ошибки состояния	Показатели ошибки опыта
Средняя квадратическая ошибка: 0.0155	Средняя квадратическая ошибка: 0.1437
Дисперсия: 0.0744	Дисперсия: 0.3791
Среднемодульное отклонение: 0.0680	Среднемодульное отклонение: 0.1053
Средняя относительная ошибка: 2.7126	Средняя относительная ошибка: 12.4574

Реализации реальных данных и прогнозных значений для набора данных при высокой загруженности канала (минимально допустимая загруженность 0,7 от ширины канала, фрагмент).

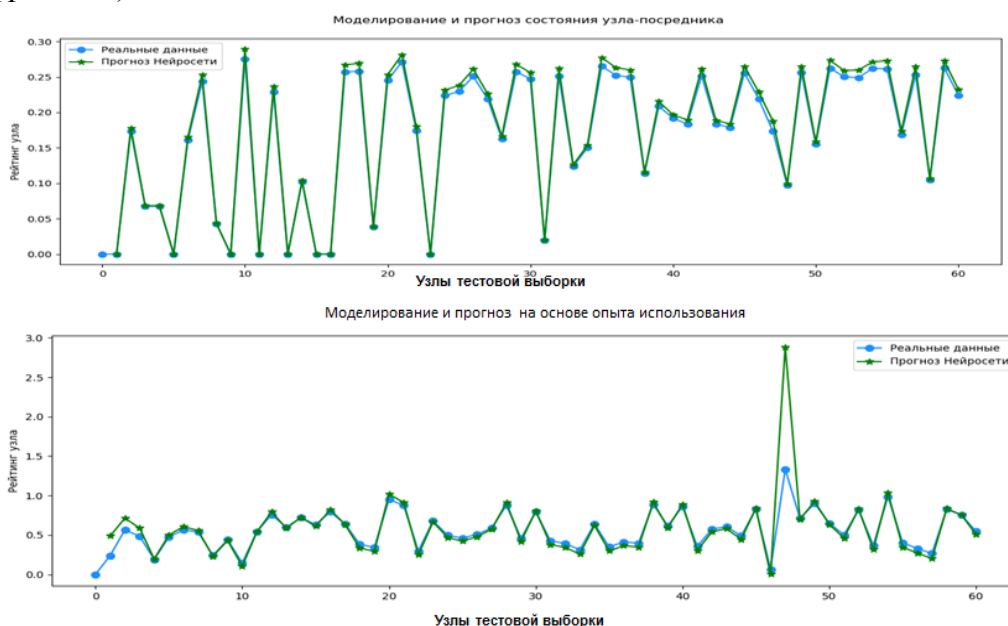


Рисунок 3 – Реализации прогнозных значений и реальных данных

Заключение

В работе предложен вариант применения искусственных нейронных сетей для прогнозирования состояния узла сети в распределенной сетевой структуре с целью повышения её надежности.

Решение позволяет повысить эффективность работы сетевой структуры при изменении условий её функционирования, то есть существенно повысить реакцию сетевой структуры на изменения состояний её узлов с точки зрения адаптивности сети и повысить гибкость сетевой структуры. Учтены существующие теоретические направления и вопросы, связанные с сетевыми структурами нового поколения (post-NGN).

Библиографический список

1. 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. – 2016. – Часть 2. – С. 188–192.
2. Грачев А.В. Подходы к моделированию процесса управления распределенными сетевыми объектами в сложных сетях. / А. В. Грачев. // Труды III Международной

научно-практической конференции. «Современные сложные системы управления (НТС'2018)». – Старый Оскол, 2018. – С. 163–165.

3. Грачев А.В. О применении аппарат искусственной нейронной сети для прогнозирования состояния узла-посредника в системе управления компьютерной сетью. / А. В. Грачев. «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS2019». / Труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева). – Новокузнецк, 2019. – С. 331–335.

О КОНЦЕПЦИИ АВТОМАТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ «INDUSTRIAL 4.0»

Исаев Э.В., Михайлова О.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, eduard-isaev-2000@mail.ru

Аннотация: в работе рассматривается концепция цифровизации и ускорения развития промышленных технологий, связанная с переходом на Интернет вещей. Была определена цель работы - оценить архитектурную концепцию Интернета вещей для применения в задачах автоматизации технологических процессов. В результате исследования были сделаны выводы о месте «граничного интеллекта» и преимуществах интеграции ИТ и ОТ технологий в современных системах автоматизаций.

Ключевые слова: автоматизация, Интернет вещей, производство, архитектура, пограничный интеллект.

Abstract: the paper discusses the concept of digitalization and acceleration of the development of industrial technologies associated with the transition to the Internet of Things. The purpose of the work was determined - to evaluate the architectural concept of the Internet of Things for application in the tasks of automation of technological processes. As a result of the study, conclusions were drawn about the place of "boundary intelligence" and the advantages of integrating IT and OT technologies in modern automation systems.

Keywords: automation, internet of things, manufacturing, architecture, edge intelligence.

С момента своего появления Интернет вещей (IoT – Internet of Things) оказал поистине ошеломляющее воздействие на промышленный и производственный мир. Интернет вещей стал не только важным инструментом для изучения и мониторинга прогресса производственных процессов с целью оптимизации производительности и затрат, но также и фундаментальным фактором, способным помочь компаниям улучшить качество своих процессов и конечных продуктов. Всё это стало возможным благодаря обработке дополнительной информации, получаемой от специальных интегрированных датчиков, проливающих свет на неочевидные аспекты деятельности и выступающих в качестве важных источников информации, которая имеет решающее значение для оптимизации производства [1].

На сегодняшний день большинство производственных предприятий характеризуется высокодиверсифицированной производственной системой, хотя часто она ещё слабо оцифрована [1]. Включение всех механизмов в единую систему позволяет организовать взаимодействие с производственным оборудованием. В результате появляется возможность цифровой обратной связи и контроля рабочих параметров прямо из MES-систем управления производством. Данные, собранные и используемые в режиме реального времени, сохраняются для анализа с целью извлечения полезной для планирования и оптимизации процессов информации, например, анализа тенденций, отклонений и повторяющихся ошибок, а также корреляции между проблемами и возможными их источниками (или способствующими им обстоятельствами). Эти закономерности выявляются промышленными аналитиками.

С появлением промышленного Интернета вещей (IIoT) компании начали поиск решений, которые позволяют задействовать аналитику данных для повышения производительности оборудования и процессов, качества и эффективности, а также для снижения

эксплуатационных расходов либо для добавления в свой ассортимент новых услуг, укрепляющих перспективные бизнес-модели.

Интернет вещей может повысить способность компании к совершенствованию с точки зрения качества, например, в области пищевой промышленности, где необходим большой набор проверок и постоянный контроль, особенно в случае консервированных или расфасованных продуктов. В этом контексте Интернет вещей может оказать ценную помощь благодаря, например, применению датчиков и систем искусственного зрения (как на основе профилометров, так и на базе стереоскопических камер).

Трудно предложить универсальный рецепт, применимый в любом контексте. Если компания уже встала на путь цифровых инноваций, то IoT на таком производстве, безусловно, не является чем-то новым. Если же компания делает свои первые шаги или планирует начать освоение этого нового пути, то ей, вероятно, понадобится консультант, который поможет настроить последовательный процесс.

В связи с концепцией Интернета вещей также много говорится о пограничном (edge) интеллекте и преимуществах, которые он может принести [2]:

унификация данных путём трансляции протоколов и агрегации данных для взаимодействия с различными новыми и устаревшими подсистемами, а также получение данных и преобразование их в более удобные для ИТ форматы;

снижение затрат за счёт локального реагирования на события и их фильтрации, что позволяет быстро реагировать на ключевые события, снижая затраты на передачу необработанных данных и тем самым повышая ценность передаваемой информации;

быстрое принятие решений благодаря реализации локальной бизнес-логики, за счёт оперативного локального принятия решений и автономной работы в случае сбоя связи;

повышение общей безопасности системы благодаря управлению ключами, аутентификации и шифрованию.

Неопределённость нахождения пограничного интеллекта в значительной степени связана с различиями между классическими архитектурами систем автоматизации и архитектурами IoT. В классической системе автоматизации граница обычно определяется как место, где реальный мир встречается с виртуальным (рисунок 1)..

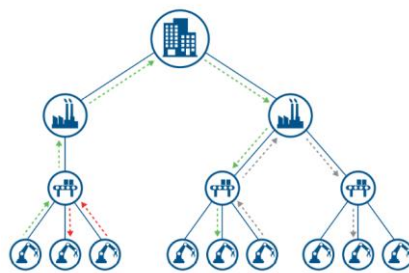


Рисунок 1 – Классическая структура системы автоматизации

Это точка, где датчики и приборы взаимодействуют со SCADA-системой (или любым другим программным обеспечением, подходящим для конкретного рассматриваемого приложения). С момента, когда данные достигают этой границы, вся система работает в рамках традиционной иерархии сбора данных и управления. Обычно все данные передаются вверх по стеку в точку, где принимается решение, а результирующие команды управления передаются обратно на границу. Крайне важно, что фактические данные, передаваемые по кругу, всё равно остаются в своём необработанном состоянии, заставляя центральную систему считать, например, что двоичное число, поступающее с сенсорного интерфейса, на самом деле трактуется в терминах физического измерения как изменение точки касания экрана, и оставляя граничному устройству задачу интерпретировать то, что означает с точки зрения его локальной работы изменение значения, полученного в виде

двоичной переменной. Один из самых интересных связанных с цифровизацией машин и процессов аспектов, безусловно, – так называемая сенсоризация, то есть возможность введения в отдельную машину или всю производственную линию датчиков с целью улучшения качества продукции [1]. На самом деле подавляющее большинство машин уже обладает в той или иной мере такими качествами: чтобы наилучшим образом выполнять производственную функцию. Компьютер или ПЛК, который управляет и контролирует определённые промышленные процессы, выполняемые определённым оборудованием, использует для этих целей ряд датчиков, установленных внутри самой машины. Что касается Интернета вещей и фабрик будущего, дополнительная возможность заключается в добавлении специальных датчиков для контроля и оптимизации качества продукции.

Мир Интернета вещей (рисунок 2) не может похвастаться простотой архитектуры: гибкость и взаимосвязанность, которые обуславливают мощь и преимущества системы IoT, приводят к гораздо менее чёткому распределению функций между физическими устройствами.



Рисунок 2 – Система автоматизации на основе IoT

Принципиальная характеристика системы IoT состоит в том, что порождаемые её компонентами данные должны быть представлены в виде, пригодном для потребления любыми авторизованными системами [2]. Формат данных должен быть пригоден для свободной передачи от производителя к потребителю, не следует полагаться на согласование в режиме «опрос-ответ» со стороны некой центральной системы. Производитель данных также должен контролировать причину и момент выдачи данных: на циклической основе, в ответ на какое-то локальное событие, либо, чаще всего, и на то и на другое.

Следует обратить внимание на то, что нет понятия главной системы и подчинённых (или принадлежащих ей) устройств. Системы рассматриваются с точки зрения производителей и потребителей данных, причём любое отдельное устройство в каждый момент времени может являться либо тем, либо другим. Таким образом, устройства не определяются их функцией. Например, два процесса остаются независимыми, но могут быть связанными.

Рассмотрим следующий пример. В классической архитектуре центральная система будет регулярно извлекать информацию из термостата, определять, как это соотносится с заданной уставкой, и выдавать команду нагревателю на включение или выключение соответственно. В мире Интернета вещей термостат публикует значение температуры без какого-либо представления о том, где или как оно будет использоваться. Нагреватель является одним из потребителей этих данных и использует их, чтобы определить для себя, включать или выключать отопление в помещении. Он, в свою очередь, может публиковать свой статус и информацию о времени выполнения действий или аналогичные показатели для потребления другими устройствами в других местах. Информация, публикуемая термостатом, вполне может быть использована устройствами и системами, которым необходимо значение температуры в комнате, но это уже никак не зависит от отношений, установленных между термостатом и нагревателем. Данный момент является ключом к пониманию разницы между IoT и классическими архитектурами автоматизации, а также

причин, по которым системы IoT являются настолько гибкими и трансформируемыми.

В настоящее время мы преодолеваем концептуальную двойственность, говоря о вторичном типе устройства пограничного интеллекта в архитектуре Интернета вещей – шлюзе Интернета вещей [2]. Этот шлюз обеспечивает тот же тип функциональности с точки зрения предоставления структуры для приложений, но отличается от пограничных устройств с точки зрения типа преимущественно используемых интерфейсов. Шлюзы Интернета вещей, как правило, фокусируются на коммуникационной связи, в то время как периферийные устройства инфраструктуры Интернета вещей, как правило, – на сенсорной связи.

Суть в том, что ключ к успешному проектированию системы IoT содержится в правильном распределении интеллекта по всей архитектуре с целью обеспечения необходимой обработки и манипулирования данными в наиболее эффективном месте для конкретного рассматриваемого случая использования. Если бы мы рассматривали всеобъемлющую универсальную архитектурную модель для системы IoT, то в любой реальной её реализации несколько уровней могли бы быть фактически сведены на нет, поскольку в каждом конкретном случае имеет смысл применять интеллект либо выше, либо ниже их в других слоях. Как видно из приведённых ранее рассуждений, сама идея того, что архитектура Интернета вещей имеет слои, в первую очередь, является фундаментально ошибочной, поскольку она состоит из сети взаимосвязанных приложений, формирующих и разрывающих связи друг с другом по мере необходимости.

Таким образом, существует разрыв между логической архитектурой системы Интернета вещей как совокупности динамически подключённых приложений и физической архитектурой, на которой она развёртывается, что обязательно связано с расположением и характеристиками активов пользователей и коммуникационных связей между ними. Растёт конвергенция аппаратных и коммуникационных технологий в сочетании с гибкостью размещения интеллекта в системе. Со временем вполне вероятно исчезновение терминов «пограничное устройство» и «промежуточный шлюз» и их замена понятием обрабатывающих хабов, узлов или чего-то подобного [2]. Такие узлы будут предоставлять свой физический интерфейс и вычислительные ресурсы (определяемые только локальной средой и сценарием их использования), предлагая их в качестве услуг всей системе, на которой могут быть развёрнуты приложения.

Итак, решения IoT позволяют:

- улучшить качество продукции и снизить объём брака;
- сократить отходы и сэкономить сырьё, одновременно переходя к более экологичным процессам, оптимально потребляющим энергоресурсы и снижающим загрязнение окружающей среды;

- иметь в наличии мощный инструмент для анализа возникающих на производстве проблем;

- реализовать структурированный контроль каждого изменения производственных процессов, обогащая арсенал средств возможностями цифровых двойников машин или процессов;

- расширить базу данных, доступных для промышленной аналитики, чем усилить функции раннего предупреждения и прогнозного обслуживания;

- связать подробную информацию о производстве с конечными продуктами, как для внутреннего использования (например, для управления гарантийным обслуживанием), так и в перспективе для внешнего использования конечными клиентами.

Библиографический список

1. Индустрия 4.0: как воспользоваться новыми технологиями // Журнал «СТА», подшивка №3/2021, стр. 6;
2. Где проходит граница интеллекта мира Интернета вещей // Журнал «СТА», подшивка №3/2021, стр. 18;

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Гусев С.С.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Москва, Россия, gs-serg@mail.ru

Аннотация. Управление энергией часто сводится к задаче экономии энергии. Однако, управление энергопотреблением является более широкой концепцией. Управление энергией включает планирование и управление операциями подразделений производства и потребления. Другими словами, управление энергией подразумевает под собой взаимосвязь между получением, распределением и использованием энергии для нужд человека с целью экономии средств и охраны окружающей среды. С этой целью в июне 2011 года Международная организация по стандартизации выпустила стандарт ISO 50001.

Ключевые слова: энергия, управление энергопотреблением, охрана окружающей среды, системы автоматического управления, энергоэффективность, алгоритм, управление зданием, расширенные функции, система управления энергией, алгоритм, экономический эффект.

Abstract. Energy control is often reduced to the task of saving energy. However, energy control is a broader concept. Energy control includes planning and managing the operations of production and consumption units. In other words, energy control implies the relationship between the receipt, distribution and use of energy for human needs in order to save money and protect the environment. To this end, in June 2011, the International Organization for Standardization issued the ISO 50001.

Keywords: energy, energy control, environmental protection, automatic control systems, energy efficiency, algorithm, building control, advanced functions, energy control system, algorithm, economic effect.

Введение

Объект исследования – энергетическая система университета, включающая административные и учебные корпуса, где размещены учебные аудитории и лаборатории, производственные помещения, мастерские. В университете установлено производственное оборудование для обучения студентов. В университете имеются административные службы и учебные аудитории. Также имеются лифты и система кондиционирования воздуха. В настоящее время управление энергетической системой университета не автоматизировано. Предмет исследования – управление энергетической системой университета [1]. Цель исследования – автоматизация управления энергетической системой университета.

За основу разработки принята система управления энергией в здании. Она представляет собой систему управления энергопотреблением предприятия, которая помогает менеджерам и работодателям использовать возможности систем управления в режиме реального времени, а также составлять подробные аналитические отчеты [2]. Система предлагает расширенные функции, такие как измерение показателей, оценка энергоэффективности и возможность контроля эффективности бизнеса – аудит результатов стратегий энергоэффективности. Применяется для удаленного управления энергообеспечением зданий, расположенных в любой точке мира. Система управления энергией в здании позволяет минимизировать затраты на электроэнергию, за счет использования системы мониторинга и дополнительной информации о нагрузке. В рассматриваемой автоматизированной системе реализуются оптимальные схемы загрузки освещения, управления лифтами, централизованного кондиционирования и вентиляции, использования резервного генератора и т.д.

1. Система управления зданием

Система Building Management System (BMS) в основном управляет системами HVAC – Heating, Ventilation, Air Conditioning (отопление, вентиляция, кондиционирование) – технологии поддержания в заданных пределах параметров воздуха: температуры, влажности и химического состава во внутренних помещениях [3], которые являются автоматическими системами климат-контроля. Эти системы устанавливаются в общественных местах здания, таких как большие залы, коридоры, подвалы, лифты и склады. В этой

системе функция обогрева и вентиляции – это процесс контроля температуры или влажности в помещении с использованием датчиков температуры и влажности. Используется расходомер воздуха и датчик концентрации CO₂, а также электронное управление с помощью исполнительных механизмов, таких как вентиляторы, воздушные клапаны и водяные клапаны.

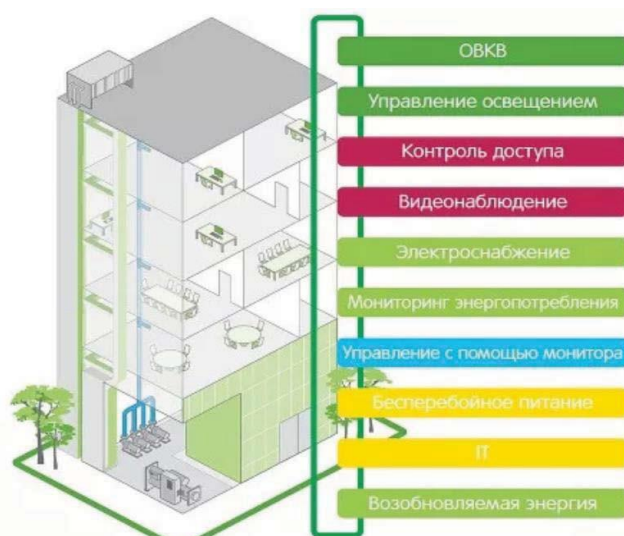


Рисунок 1 - Модель системы управления зданием BMS

Система кондиционирования воздуха обеспечивает охлаждение, вентиляцию и сушку в определенной зоне. Система BMS (рисунок 1) представляет собой онлайн-мультимедийную многопользовательскую систему обработки в реальном времени, состоящую из центральных микропроцессоров со всем компьютерным программным и аппаратным обеспечением, устройствами ввода и вывода, а также периферийных микропроцессоров, датчиков, контроллеров [4], управляющих устройств электроавтоматики.

Интеллектуальная система управления зданием собирает, хранит и обрабатывает информацию для многих типов оборудования в здании и помогает операторам проводить инспекции, техническое обслуживание [5], выставлять счета за потребление энергии и помогает пользователям экономить денежные средства. Управление расходами денежных средств – это дополнительная возможность программного обеспечения, расширение поддержки управления устройствами, управления операциями, управления расписанием, учета и выставления счетов.

Система BMS управляет всей электрической системой здания и связями между зданиями, экономит электроэнергию, снижает эксплуатационные расходы. В этой системе выполняется мониторинг, предупреждение, хранение и обмен данными, такими как рабочее состояние, часы работы каждого устройства, балансировка работы, контроль для обеспечения долговечности оборудования, график своевременного технического обслуживания и ремонта.

Система BMS собирает входные данные от датчиков, исполнительных механизмов на полевом уровне и затем использует входную информацию для принятия управляющих решений на рабочих станциях, в микропроцессорах и ПЛК. Рабочие станции соединены друг с другом в единую сеть для передачи и обмена информацией.

Затем данные обрабатываются и анализируются на уровне управления в центральном устройстве и выводятся на периферийные микропроцессоры, которые формируют сигналы включения или выключения, и которые подключены к рабочим станциям в здании.

Уровни BMS:

1. Первый уровень – устройства умного дома работают независимо друг от друга и взаимодействуют между собой с помощью физических соединений.

2. Второй уровень – различные подсистемы интеллектуального здания взаимодействуют между собой с помощью контроллеров системы.

3. Третий уровень – позволяет получить доступ к информации, передаваемой между подсистемами с помощью локальной сети (проводной или беспроводной).

4. Четвертый уровень – все устройства и подсистемы объединяются между собой на основе общей системной шины (EIB/KNX, LonWorks, BACnet).

Система управления зданием контролирует следующие подсистемы (рисунок 2.):

Электрораспределительная станция.

Резервный генератор.

Осветительная система.

Система кондиционирования и вентиляции.

Внутренняя система водоснабжения.

Пожарная сигнализация.

Система пожаротушения.

Лифтовая система.

Система контроля доступа.



Рисунок 2 - Функциональные блоки использования энергии в зданиях

Рассмотрим разработку структурной схемы системы автоматизации управления электроснабжением. Структурная схема системы автоматизации управления электроснабжением [6], приведенная на рисунке 3, включает: устройства управления, контроллеры, датчики и приводы.

SCADA система SIMATIC WinCC – является системой оперативного отслеживания и управления технологическими процессами, производственными линиями во всех отраслях производства. Система имеет возможность создания одностанционных операторов, а также сложных распределенных многостанционных компьютерных систем с серверами и Web клиентами. В системе предусмотрен интерфейс для связи с процессами. Система высокопроизводительная, поддерживает резервированные структуры управления,

работает со всеми системами автоматизации SIMATIC, имеет возможность защиты, хранения и архивирования данных.



Рисунок 3 - Компоненты и подсистемы

SCADA система выступает в роли информационного центра [7] для поддержания принципа вертикальной интеграции всей компании. Система универсальна и может применяться при построении систем управления различных отраслей. Для отдельных областей производства разрабатываются специальные решения на основе дополнительного программного обеспечения. Базовый пакет WinCC отвечает требованиям промышленных стандартов и осуществляет поддержку подтверждения приема сигналов, архивирования сообщений и значений параметров технологических процессов, обеспечивает регистрацию данных и параметров конфигурации, управляет пользовательским доступом и визуализацией.

WinCC работает с любым компьютером, имеющим необходимые системные требования. При работе с промышленными компьютерами SIMATIC Panel PC и/или SIMATIC Rack PC имеется возможность создания высокопроизводительных систем [8, 9], непрерывно работающих в производственных условиях. В сетевой системе управления зданием используются решения промышленной сети связи: Profibus, Ethernet, BacNet.

Рассмотрим сетевые протоколы BACnet, OPC, Modbus, Lontalk. Общим сетевым протоколом для других систем, взаимодействующих с BMS, должен быть BACnet, Modbus или OPC, работающий по Ethernet и соответствующий ASHRAE BACnet 135-1995, 135-2004. Как правило, связь применяется с системами безопасности (Card Access, CCTV), интеллектуальными [10] адресными системами пожарной сигнализации, системами кондиционирования, системами передатчиков. Эти системы должны предоставлять интерфейсные порты в соответствии с сервером BACnet TCP/IP, Modbus или OPC, чтобы иметь возможность обмениваться данными с BMS по Ethernet TCP/IP.

Сеть связи интеллектуальной системы управления зданием BMS, способная интегрировать всю систему, включая IP-сеть BACnet, Lontalk, Modbus или OPC. Для сетевого взаимодействия между клиентскими компьютерами и серверами используется (протокол HTTP для передачи текста высокого уровня).

Сеть BACnet IP используется для соединения между каждым системным сервером и контроллером высокого уровня. Интернет-протокол версии 4 (IPv4) или версии 6 (IPv6) используется в зависимости от технических требований (рисунок 4).

1.1 Протокол MODBUS

Протокол Modbus используется для связи между измерителями мощности и контроллерами в соответствии со стандартом RS485. Технология OPC используется для интеграции системы с BMS. На компьютерах с платформой сервера OPC BMS может под-

ключаться к другим системам, таким как BMS, путем преобразования протокола BACnet в протокол, который может взаимодействовать с OPC.

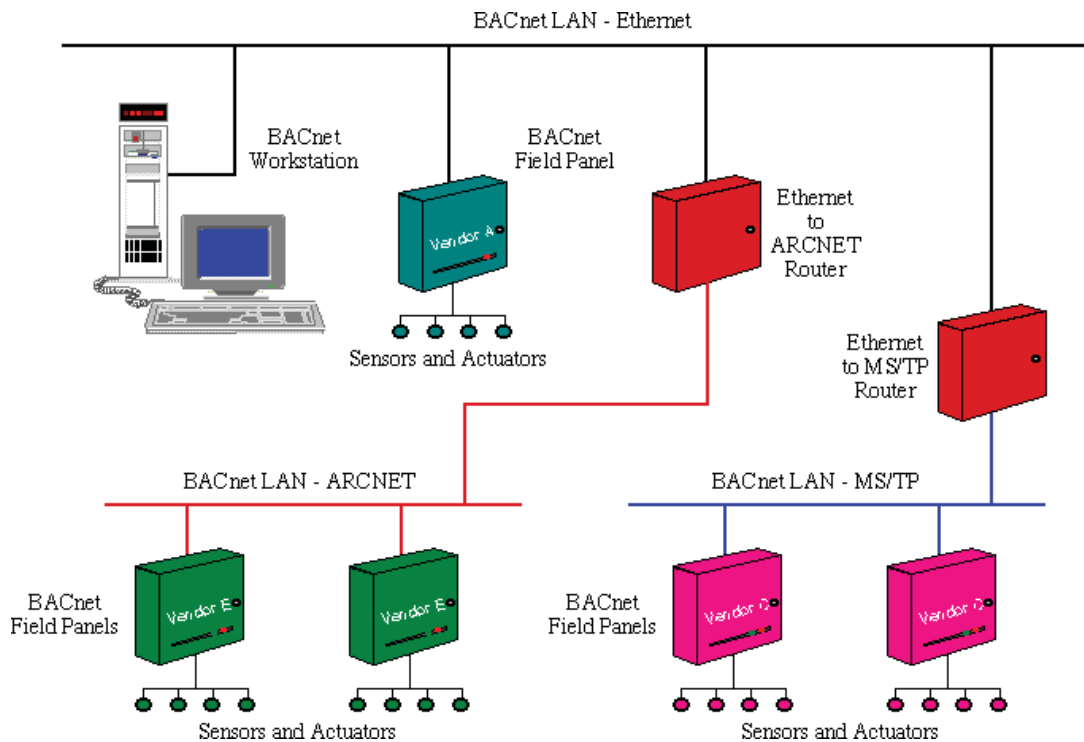


Рисунок 4 - Пример трех разных локальных сетей BACnet, связанных между собой «маршрутизаторами»

1.2 Протокол LONTALK

Протокол LonTalk (рисунок 5) используется для связи между высокоуровневыми контроллерами и цифровыми контроллерами, таких как многоцелевые контроллеры.

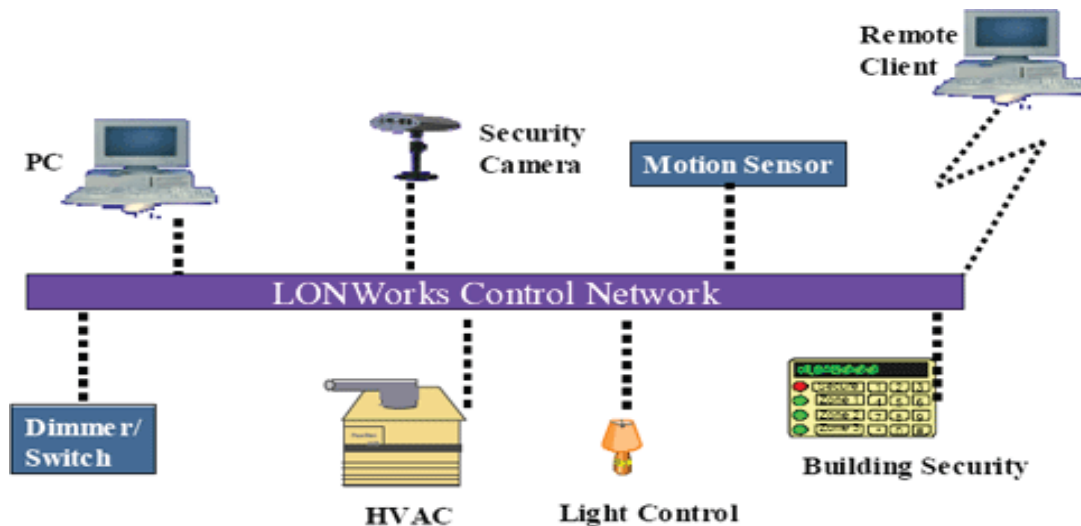


Рисунок 5 - Протокол LonTalk

Протокол Modbus используется для связи между измерителями мощности и контроллерами в соответствии со стандартом RS485.

Технология OPC используется для интеграции системы с BMS. На компьютерах с платформой сервера OPC BMS может подключаться к другим системам, таким как BMS, путем преобразования протокола BACnet в протокол, который может взаимодействовать с OPC.

1.3 Протокол PROFIBUS (технологическая полевая шина)

PROFIBUS – система полевых шин, разработанная в Германии в 1987 году и установленная в качестве стандарта IEC 61158 в 2000 году. В настоящее время Profibus считается надежным и стандартным решением во многих приложениях. Эта система шин используется для подключения полевых устройств к контроллерным устройствам. Это система с несколькими главными шинами (многоадресная передача), которая позволяет распределенным устройствам ввода-вывода, интеллектуальным измерительным устройствам, устройствам управления подключаться к одной шине.

Profibus включает в себя: Profibus – FMS, Profibus – DP и Profibus – PA: Profibus FMS (спецификация сообщений полевого уровня) — универсальный протокол. Используется для обмена данными между сетевыми устройствами (контроллерами, компьютерами/программаторами, системами человеко-машинного интерфейса) на полевого уровне. Предполагает высокоскоростную связь между контроллерами и компьютерами верхнего уровня. Скорость передачи данных до 12 Мбит/с.

2. Алгоритм работы системы

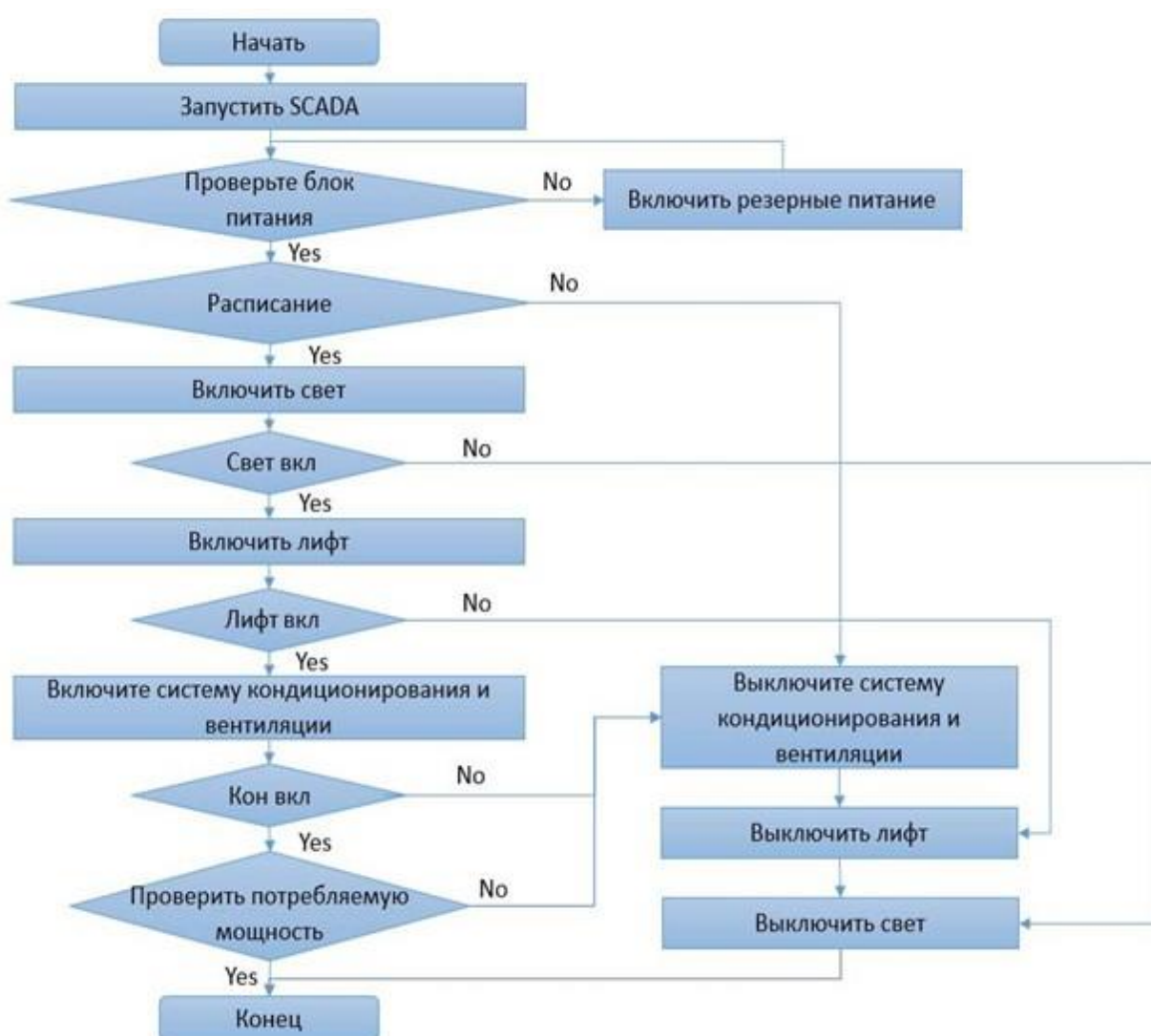


Рисунок 6 - Блок-схема алгоритма работы системы управления электроснабжением

Алгоритм работы системы представлен на рисунке 6.

На основе разработанного алгоритма работы системы были разработаны UML-диаграммы для описания последовательности работы подсистем, входящих в систему управления электроснабжением.

На рисунке 7 представлена UML-диаграмма последовательности системы управления электроснабжением лифта.

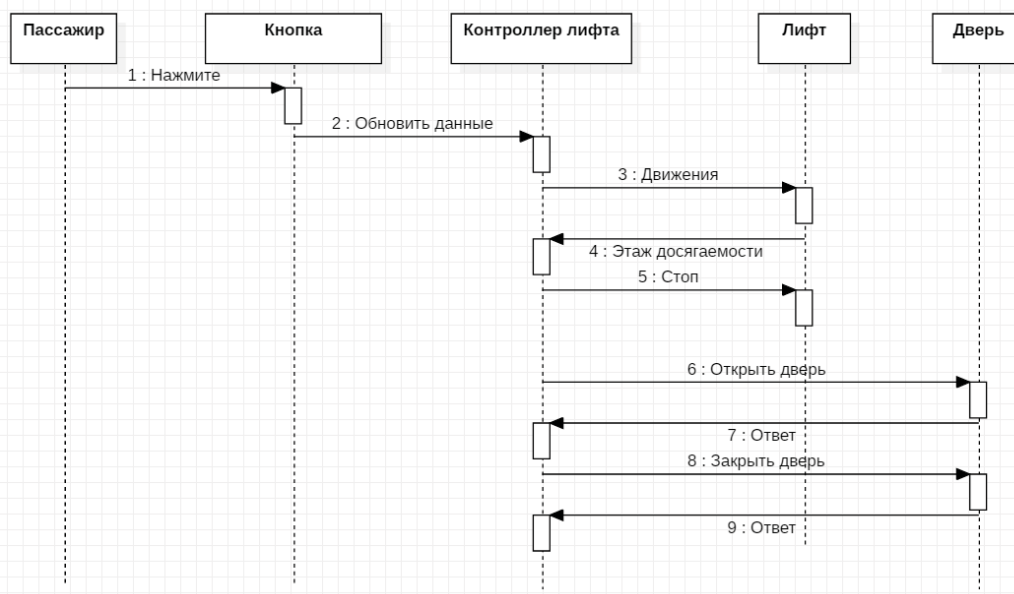


Рисунок 7 - Диаграмма последовательности системы управления электроснабжением лифта

На рисунке 8 представлена UML-диаграмма последовательности для системы управления электроснабжением кондиционирования и вентиляции.

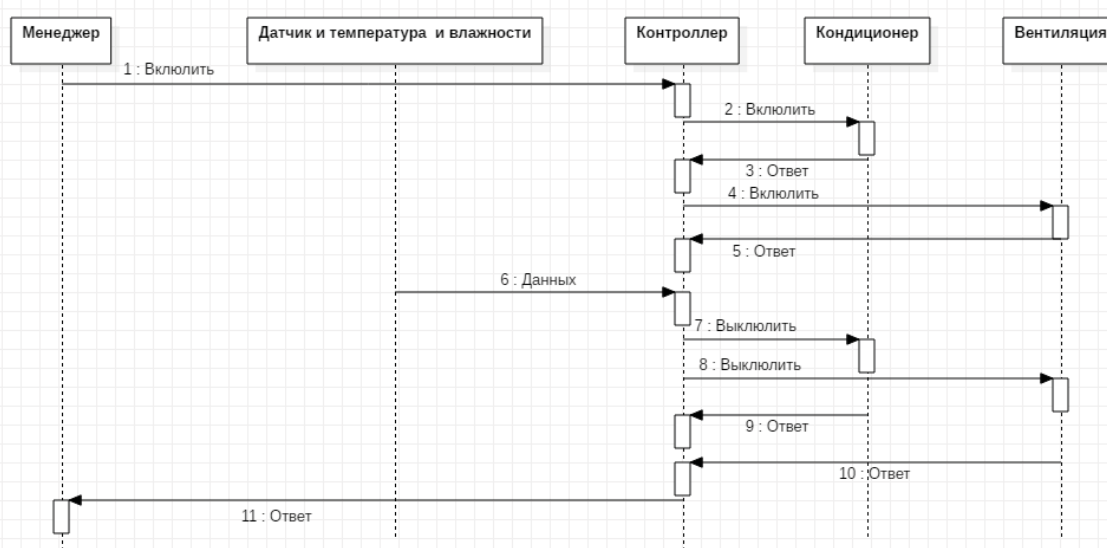


Рисунок 8 - Диаграмма последовательности для кондиционирования и вентиляция

В данном разделе статьи разработан алгоритм работы системы управления электроснабжением здания, составлены схемы для описания последовательности работы подсистем, входящих в эту систему.

3. Вентиляционная система кондиционирования

HVAC – это система, работающая по принципу термодинамики, механики жидкости и теплообмена. В настоящее время HVAC стал промышленным стандартом для строительства со многими приложениями, такими как системы кондиционирования и венти-

ляции в высотных зданиях, коммерческих центрах, в производстве, на электростанциях, в самолетах, космических кораблях, в чистой комнате и др.

Обычная система кондиционирования воздуха (рисунок 9) будет разделена на контрольные кластеры мониторинга:

Чиллеры: подключенные к системе BMS по высокоуровневым протоколам могут быть напрямую через IP Bacnet, Lonbus или через конвертер Modbus/Bacnet.

Система градирни, бак для воды подключен через датчики, контроллер в шкафу обеспечивает рабочее состояние.

Системы AHU, PAU и FCU (кондиционеры, чиллеры и фанкойлы соответственно) также подключаются через датчики, контроллер в шкафу обеспечивает рабочее состояние.

Контроль над бустерными системами, дымоудалением в случае инцидентов.

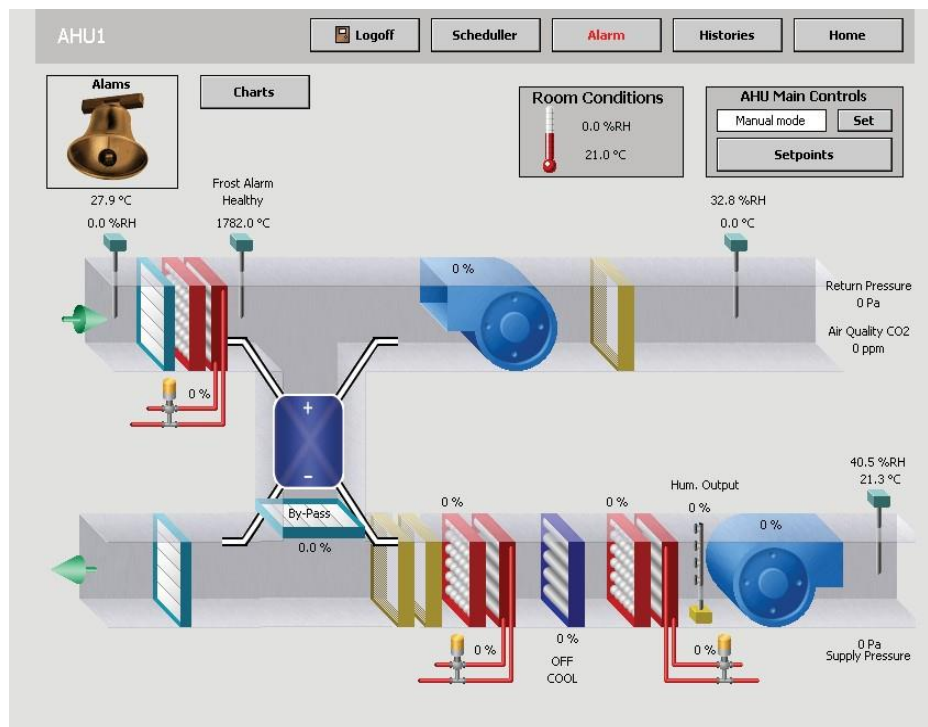


Рисунок 9 - Система кондиционирования воздуха (чиллеры)

Чиллеры используются для выработки охлажденной или холодной воды, которая перекачивается по всему зданию для кондиционирования воздуха путем сбора нежелательного тепла.

Существует два основных типа чиллеров: с воздушным и водяным охлаждением.

3.1 Чиллеры с водяным охлаждением

Чиллеры с водяным охлаждением обычно расположены в подвале или на нижнем этаже здания. Этот тип чиллера нуждается в градирне для отвода тепла от здания. Чиллер производит охлажденную воду и проталкивает ее по всему зданию в кондиционеры (AHU), фанкойлы (FCU) и т.д. Эти агрегаты циркулируют воздух вокруг местного пространства, а также здания. Воздух проходит через теплообменники, содержащие охлажденную воду, которая извлекает нежелательное тепло до того, как воздух распределяется по всему зданию.

Нежелательное тепло, которое извлекается из воздуха, накапливается в контуре охлажденной воды. Этот контур циркулирует обратно в чиллер, и как только он достигает испарителя, нежелательное тепло будет передаваться в конденсатор чиллера через контур хладагента.

Градирня будет нагнетать окружающий воздух через воду конденсатора для отвода нежелательного тепла. Вентилятор в градирне заставляет это тепло выходить из системы и здания и выбрасываться в атмосферу. В этом случае конденсатор чиллера был

охлажден водой, поэтому он представляет собой чиллер с водяным охлаждением.

3.2 Кондиционеры (AHU'S)

AHU, блок обработки воздуха содержит агрегаты, которые связаны с работой воздуховодов и обеспечивают определенный маршрут для воздушного движения в здании. В простой форме AHU будет использовать вентилятор для всасывания свежего наружного воздуха, который затем будет проходить через некоторые фильтры для удаления грязи и пыли. Затем он будет проходить через теплообменники охлаждающих и нагревательных змеевиков. Как только воздух пройдет над этими катушками, он будет выталкиваться в здание. Другой набор воздуховодов будет собирать теплый использованный воздух из комнат и возвращать его в AHU через другой вентилятор. Этот вентилятор будет выталкивать воздух из кондиционера и здания.

3.3 Управление энергообеспечением лифтов

Лифты и эскалаторы являются независимыми системами управления, которые взаимодействуют с системой управления электроэнергией.

Входной сигнал системы энергетического менеджмента:

Расположение каждого лифта.

Статус каждого лифта.

Выходной сигнал: включение и выключение электропитания лифта.

3.4 Система освещения

Система освещения, представленная ниже на рисунке 10, выполняет функции: включение, изменение яркости, управление мощностью.



Рисунок 10 - Система освещения

3.5 Мониторинг электрической системы



Рисунок 11 - Мониторинг электрической системы

Система BMS (рисунок 11) будет выполнять следующие функции:

- Контролировать рабочее состояние главного распределительного устройства,
- Контролировать напряжение и ток, параметры сети,
- Контролировать работу преобразователя напряжения,

-Контролировать температуру в машинном отделении дизель-генератора, количество масла в баке, измерять время работы машины.

Выводы

В статье проведен анализ системы управления зданием и определены устройства, которые контролирует система управления энергопотреблением. Предложена автоматизированная система, которая регулирует потребление энергии в зависимости от режима использования оборудования, расписания занятий и количества людей в здании. Разработан интерфейс SCADA для управления энергопотреблением, включения электроснабжения системы освещения, вентиляции и кондиционирования, лифтовой системы.

Библиографический список

1. Булатов И.С. Пинч-технология. Энергосбережение в промышленности, СПб “Страта” Санкт-Петербург, 2012. – 140 с.
2. Степени автоматизации ДГА (ДЭС) по ГОСТ 14228-80 http://www.ra-nn.ru/article07/https://ru.wikipedia.org/wiki/Умное_здание
3. Общая информация о программируемых логических контроллерах OWEN, URL: <http://www.owen.ru/about/13568456>
4. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа / И.Б. Шубинский. – Ульяновск, 2012. – 216 с.
5. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. Современные системы кондиционирования и вентиляции воздуха, Киев, “Аванпост Прим”, 2003. – 626 с.
6. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / Кол. авт.: под ред. проф. Разу М.Л. М.: КНОРУС, 2007. – 768 с.
7. Лялин А.М., Пфайфер Н.В. Внедрение системы энергоменеджмента в организации на основе стандарта ИСО 50001 – 2014, с. 1-9.
8. Цыркин, М.И. Статистические и дизельные агрегаты резервного электропитания: монография / Цыркин М.И., Гольдинер А.Я., Головкин В.В., Соколов С.В.; СПб: Чистый лист, 2002. – 116 с.
9. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа / И.Б. Шубинский. – Ульяновск, 2012. – 296 с.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Кожевников А.А.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Новокузнецк, Россия, nvkz2004@rambler.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные вопросы моделирования механизма анализа и обработки данных в системах управления. В рамках проведенного исследования раскрыты возможности применения разработанного автором метода анализа параметров «проблемного поля» и минимизации факторов «неопределенности» на основе индексов наличия проблем. Показаны его преимущества, как менее затратного и более точного, а также позволяющего учитывать факторы риска с определением динамики их показателей и ранжированием по зонам риска. В ходе исследования применено моделирование, включая знаковое моделирование, в том числе с помощью математических методов и соотношений; системный анализ; а также методы ситуационного и логического анализа данных. Дополнительно проведена оценка вероятности обеспечения равновесного по Нэшу вектора рассмотренной модели. Выводы содержат предложения по внедрению указанного подхода к обработке и анализу данных, используемых в системе управления.

Ключевые слова: моделирование, анализ, обработка данных, равновесие по Нэшу, индекс наличия проблемы.

Abstract. *The article addresses topical issues of modeling the mechanism of analysis and processing of data in control systems. As part of the study, the possibilities of using the method developed by the author to analyze the parameters of the "problem field" and minimize the factors of "uncertainty" based on the indices of the presence of problems were revealed. Its advantages are shown as less costly and more accurate, as well as allowing taking into account risk factors with determining the dynamics of their indicators and ranking by risk zones. In the course of the study, modeling was applied, including landmark modeling, including using mathematical methods and ratios; system analysis; and situational and logical data analysis methods. Additionally, probability of providing Nash equilibrium vector of the considered model is estimated. The findings contain suggestions for implementing this approach to processing and analyzing the data used in the management system.*

Keywords: modeling, analysis, data processing, Nash balance, index of problem presence.

Моделирование механизмов анализа и обработки данных в системах управления сохраняет свою актуальность по ряду причин. Так, прежде чем приступить к формированию соответствующей модели, следует учитывать тот факт, что в любой системе управления реализуются функции, через которые управляющее воздействие на объект управления оказывается с использованием информации. При этом, если провести декомпозицию функций, то они включают в себя управленческие процедуры, которые в свою очередь состоять из операций [4]. Анализ и обработка данных в зависимости от их объема являются процедурой либо операцией. В связи с этим необходимо отметить, что информация для анализа должна быть не вообще, а конкретно связана с раскрытием содержания функций, реализуемых в системе управления. Данные также должны лежать в основе определения соотношения между эффективностью управленческой деятельности по достижению требуемого результата либо цели и теми затратами, которые были потрачены для этого. Естественно, что в ходе этой процедуры возникает множество противоречий между потребностями и средствами их удовлетворения, которые приобретают проблемный характер. В рамках вышеуказанного подхода целесообразно так построить понятия, описывающие область, которую принято называть «проблемной», чтобы в сознании субъекта управления, в первую очередь, отразилась практическая деятельность, связанная с осуществлением им функции управления. При таком подходе «проблема» выступает как исходная форма организации знаний через систему высказываний либо действий. Она генерирует необходимость её решения, в том числе путём получения новых знаний, совокупность которых, как раз и формирует «проблемное поле», где отсутствие или незначительное возмущение, действующих как внутри, так и вне объекта, можно однозначно определить влияние входных и управляющих параметров на выходные [3]. Наряду с этим, особенно на этапе автоматизации обработки данных, важное значение приобретает преодоление неопределенности тех параметров, с которыми связывается «проблемное поле», а также оптимизация управления многомерными динамическими процессами, что предполагает создание алгоритмического обеспечения во взаимосвязи с вопросами развития информационных технологий. Это означает переход к качественному объединению разнородных технологий, позволяющему осуществлять разработку математических алгоритмов, например DATA MINING, с учетом возможности модификации и развития соответствующих систем хранения и переработки информации [6].

Цель исследования заключалась в рассмотрении вопросов моделирование механизмов анализа и обработки данных в системах управления, использование которых позволит, преодолевая неопределенности, тем самым влиять на содержание и объем «проблемного поля» для обеспечения условий по повышению эффективности реализации функций в системе управления.

Методы исследования: моделирование, включая знаковое моделирование, в том числе с помощью математических методов и соотношений; системный анализ; а также методы ситуационного и логического анализа проблем управления для постановки и выбора альтернатив решения задач исследования.

Неопределенность. В рамках теории управления общепринято считать, что неопределенность относительно параметров, описывающих участников организационной системы, называется внутренней неопределенностью, относительно внешних параметров – внешней неопределенностью. Член - корреспондент РАН Д.А Новиков внешней объективную неопределенность относил к неопределенности природы (или неопределенности состояния природы), а внутреннюю субъективную неопределенность к игровой неопределенности. В связи с этим процесс перехода от предпочтений GA_0 на множестве A_0 к индуцированным предпочтениям GA на множестве A , основывающийся на законе $WI(\cdot)$, называют устранением неопределенности. Закон $WI(\cdot)$ определяется функцией $w(\cdot)$, отражающей структуру пассивного управляемого объекта, и той информацией I , которой обладает субъект управления (далее агент) на момент принятия решений о выбираемом действии [2].

Применительно к теории управления и в рамках проведенного исследования, предлагаемая автором проблемно-ориентированная система информационного обеспечения принятия управленческих решений (ПОСИО) рассмотрена в качестве формы реализации процедуры информационного регулирования, включенную с учётом отраслевой особенности в механизм информационного управления с целью снижения «неопределенности» анализируемых параметров «проблемного поля» в интересах поддержания информационного равновесия. При этом за счёт примененного моделирования она позволяет визуализировать и структурировать полученные сведения для формирования в интересах субъекта управления соответствующей структуры информированности агентов (объектов управления), тем самым, через устранение неопределенности, побуждая их к принятию требуемых решений.

Учитывая то, что механизм управления - совокупность процедур принятия решений, применение ПОСИО можно отнести к информационному регулированию, при котором центр сообщает агентам информацию о внешней обстановке, влияя тем самым на их поведение. В связи с этим формализованная постановка задачи управления с учётом применения ПОСИО для исследования, например, социальной системы будет следующей: пусть R – множество решений. Начальное состояние каждого $r \in R$, характеризуется индексами наличия проблемы по следующим показателям: значениями d - показателями демографического состояния населения, $d \in D$, где D – множество демографических показателей (численность населения, рождаемость, смертность и т.д.); значениями z - показателями болезней населения, $z \in Z$, где Z – множество показателей болезней (болезни системы кровообращения, новообразования, инфекционные и паразитарные болезни, болезни органов пищеварения и т.д.); значениями s – социально-экономическими показателями уровня жизни населения, $s \in S$, где S – множество социально-экономических показателей (размер заработной платы, пенсий, пособий, наличие квартиры и т.д.); значениями m – показатели социологического опроса, $m \in M$, где M – множество показателей, основанных на субъективном суждении, мнении респондента по исследуемой проблеме. Для решения вышеуказанной задачи требуется:

1. Определить b_k и b_{jk} - коэффициенты экспертных оценок степени влияния факторов на общественное здоровье с помощью расчета коэффициентов согласованности и непротиворечивости, а также провести формализацию самой процедуры экспертной оценки.

2. Разработать индекс наличия проблемы I для отдельных факторов (I_ϕ), для группы факторов ($I_{гр}$) и индекс наличия проблемы общий ($I_{общ}$), при выполнении следующих ограничительных условий: интервал $[0 < I < 1]$ и период $t \in [0, T]$;

3. Провести ранжирование и зонирование индексов наличия проблемы;

4. Подготовить и реализовать рекомендации для принятия управленческого решения $p \in P$. Общая структура модели ПОСИО представлена в следующем виде:

$$X(t+n) = f(X(t), I_\phi(t+n), I_{cp}(t+n), I_{общ}(t+n), Er), t \in [0, T];$$

где $X(t+n)$ – вектор состояния ПОСИО за период $t \in [0, T]$,

n – количество лет, характеризующее количественными социально-экономическими, демографическими и иными показателями исследуемого объекта управления;

$X(t)$ – вектор состояния ПОСИО на конец года t ; $I_{\phi}(t+n)$, $I_{gp}(t+n)$, $I_{общ}(t+n)$ – ИНП отдельного фактора, группы факторов и общий за период $(t+n)$;

Er – показатели экономического эффекта от принятия решения – r , где $r \in R$.

Таким образом, исследование *процедуры регулирования*, включенную в механизм управления с учетом отраслевой специфики, осуществлялось путём формирования оптимизационной модели процесса информационного обеспечения принятия решений, которую при наличии большого объема информации можно будет автоматизировать. В основе данного подхода лежит теория оптимизации, включающая линейное и нелинейное программирование. В рассматриваемой модели управления центр играет роль управляющего органа, а агент выступает в роли управляемого субъекта. При разработке ПОСИО, основное внимание уделялось рассмотрению *предмета информационного управления*, что было обусловлено необходимостью решения задачи по снижению внешней и внутренней неопределенности, связанной с обстановкой, которая интересует центр и агента, а также с обеспечением информированности центра о тех принципах и подходах, которыми руководствуется агент, принимая те или иные решения. Это делалось для того, чтобы обеспечить *оптимальное управление* организационной системой: $K(u) \rightarrow \max_{u \in U}$.

Следует отметить, что *индекс «I»*, предлагаемый в качестве *предмета информационного управления*, в рамках исследования характеризовался как *индекс наличия проблемы*, тем самым подчеркивая неотъемлемую связь с «проблемным полем», «неопределенностью» и «неполной» информированностью центра и агента. Методика его расчёта основывалась на использовании подхода, связанного с применением взвешенных сумм, как менее затратного и более точного, что позволило осуществить учёт большого числа факторов риска с определением динамики их показателей, а также проведением их ранжирования по зонам риска. Как ранее было отмечено, что ИНП рассчитывался в качестве взвешенной суммы *индексов наличия проблемы* как для *отдельных факторов риска* (I_{ϕ}), так и для *факторных групп* (I_{gp}) с учетом суммарного влияния. При наличии всех доступных факторов и за счет приведения всех факторов к *единой размерности* определялся индекс общий ($I_{общ}$). При этом с одной стороны оценивалось соответствие показателя нормативу, что характеризовало текущую ситуацию, а с другой стороны через рассмотрение динамики показателей формировался прогноз того, как ситуация будет развиваться в дальнейшем.

Индекс наличия проблемы представляет собой число от 0 до 1, где 1 означает отсутствие проблемы, 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 чём именно эта проблема заключается. Например, ИНП может указывать на несоответствие показателя нормативам или о наличии неблагоприятной тенденции либо о том и другом месте. Разработана градация индекса, соответствующая ситуациям, указанным в таблице 1.

Таблица 1 – Градация индекса наличия проблемы (ИНП)

Градация индекса наличия проблемы (ИНП)	Соответствие норме	Тенденция показателя	Классификация зон риска	
от 0 до 0,2	не соответствует	неблагоприятная	зона высокого риска	
от 0,2 до 0,4	не соответствует	относительно неблагоприятная	зона высокого, но контролируемого риска	
от 0,4 до 0,6	соответствует	благоприятная	зона возможного риска	
от 0,6 до 1	соответствует	благоприятная	зона минимального риска	

На основе проведенных исследований и учитывая анализ методики обработки полученных сведений, переход к определению ИНП целесообразно осуществлять после

проведения экспертной оценки проблем, имеющих отношение к рассматриваемой теме. Во-первых, это в значительной степени способствует определению проблемного поля и целей полевых исследований. Во-вторых, оптимизирует работу по формированию анкет, используемых при социологическом опросе населения. В-третьих, результаты экспертной оценки применяются в дальнейшем для расчета коэффициентов, необходимых для соответствующих шкал и таблиц, а также для определения показателей. В формализованном виде механизм экспертной оценки можно представить в следующем виде: n – эксперты, каждый из которых сообщает оценку $w \leq w_i \leq W, i = 1, n$, где w – минимальная, а W – максимальная оценка. Итоговая оценка $x = \pi(w)$ является функцией оценок, сообщенных экспертами $w_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. При этом m_i обозначает субъективное мнение i -ого эксперта, которое можно считать истинным представлением об объекте экспертизы, то средняя оценка: $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$, как итоговое мнение, достаточно объективно и точно оценивает объект. В этом случае целевая функция i -ого эксперта будет иметь вид:

$$f_i(x, m_i) = |x - m_i|, i = 1, n.$$

В результате эксперт будет сообщать оценку w_i , соответствующую условию минимума $|x(w_1, w_2, \dots, w_n) - m_i|$.

Переходя к расчету *индекса наличия проблемы* ($I_{общ}$) достаточно знать значение анализируемого показателя за последние два-три года, а также значение нормативов, в качестве которых могут выступать значения показателя по области или стране, либо нормативы могут определяться экспертным путём. Существенно также то, что $I_{общ}$ учитывает тенденцию показателя, то есть к чему он должен стремиться: к минимуму (например, смертность, инвалидность, заболеваемость) или к максимуму (рождаемость, продолжительность жизни, прирост населения и др.). Для нахождения $I_{общ}$ первоначально необходимо определить значение *индекса наличия проблемы для отдельного фактора риска* ($I_{ф}$), который рассчитывается в зависимости от того, как именно измерялся анализируемый фактор: статистическим показателем или вопросом в социологическом опросе. В случае использования статистического показателя $I_{ф}$ рассчитывается по формуле (1):

$$I_{ф} = 0,3 + 0,4 \times НП + 0,1 \times НПР + 0,2 \times ТП \quad (1)$$

где $I_{ф}$ – индекс наличия проблемы для отдельного фактора риска;

$НП$ – соответствие показателя норме: если показатель в пределах нормы, то он равен (1), а также (0), если он норме не соответствует;

$НПР$ – разница между нормой и показателем, по отношению к норме.

$ТП$ – оценка тенденции показателя за последние 3 года: равна (-1), если на протяжении всего периода тенденция неблагоприятная; либо равна (1), если благоприятная, а также (0), если явной тенденции не выявлено.

Если показатель превышает норматив в 2 и более раз, то НПР соответствует (-1) для показателей, стремящихся к минимуму, а также НПР соответствует (1) для показателей, стремящихся к максимуму. В остальных случаях НПР рассчитывается по формуле 2:

$$НПР = \begin{cases} (П-Н)/Н, \text{ для показателей } \rightarrow \max \\ (Н-П)/Н, \text{ для показателей } \rightarrow \min, \end{cases} \quad (2)$$

где $П$ – значение показателя за анализируемый период;

$Н$ – значение норматива (местного, регионального либо федерального);

В случае, если фактор представлен вопросом анкеты, полученной путём социологического опроса, расчет $I_{ф}$ осуществляется по формуле (3):

$$I_{ф} = 0,2 \times O_m + 0,2 \times O_{(omp)} + 0,5 \times O_{(неим)} + 0,8 \times O_{(нол)} \quad (3)$$

где $I_{ф}$ – индекс наличия проблемы для отдельного фактора риска;

O_m – преобладающие ответы: равно 1, если большинство респондентов ответили на

вопрос положительно, 0 – нейтрально и (-1) – отрицательно;

$O_{(отр)}$ – доля респондентов, ответивших на данный вопрос отрицательно;

$O_{(нейтр)}$ – доля респондентов, ответивших на данный вопрос нейтрально;

$O_{(пол)}$ – доля респондентов, ответивших на данный вопрос положительно.

Коэффициенты в формуле (1) и (3) подобраны таким образом, чтобы их комбинация соответствовала определённому интервалу индекса наличия проблемы. Далее представлен порядок расчета *интегрального индекса наличия проблемы для группы факторов риска и общий* – формулы (4), (5):

$$I_{гр}^k = \sum_{j=1}^N b_j^k \times I\phi_j^k, \quad (4)$$

$$I_{общ} = \sum_{k=1}^L b^k \times I_{гр}^k. \quad (5)$$

где $I_{общ}$ – интегральный индекс наличия проблемы общий;

$I_{гр}$ – интегральный индекс наличия проблемы для группы факторов;

$I\phi$ – индекс наличия проблемы для отдельного фактора риска;

b^k – весовые коэффициенты факторных групп, рассчитанные на основе экспертных оценок и характеризующие степень влияния показателя на общественное здоровье;

b_j^k – весовые коэффициенты факторов риска;

L – число рассматриваемых факторных групп;

N – число факторов в группе, которые могут быть измерены.

Диапазон значений ИНП расположен в пределах от 0 до 1. При этом, чем ближе значение индекса к 1, тем лучше на анализируемой территории ситуация в сфере общественного здоровья. Однако, если он находится между 0,7 и критическим значением, то необходимо проверить существуют ли проблемы по значению показателей индекса наличия проблем для групп факторов – $I_{общ(крит)}$, рассчитываемый по формуле (6):

$$I_{общ(крит)} = 1 - 0,7 \times b_{(min)}^k. \quad (6)$$

где $I_{общ(крит)}$ – критическое значение интегрального индекса наличия проблем;

$b_{(min)}^k$ – минимальный весовой коэффициент среди всех рассматриваемых факторных групп;

k – номер группы.

В том случае, если $I_{общ(крит)}$ указывает на наличие проблемы в сфере общественного здоровья, то необходимо выяснить, с чем они связаны. В частности, путём анализа индекса наличия проблемы в отдельных областях человеческой жизнедеятельности ($I_{гр}$). Интерпретация значений индекса аналогична интерпретации значений вышеуказанного интегрального индекса. Так, если он ниже 0,7, то выявлена проблема, а если выше критического значения – проблемы нет. При нахождении индекса между 0,7 и критическим значением требуется уточнить по значению индекса $I_{гр}^k$ (крит). Критическое значение интегрального индекса наличия проблем для группы факторов рассчитывается по формуле (7):

$$I_{гр}^k (крит) = 1 - 0,7 \times b_{j(min)}^k, \quad (7)$$

где $I_{гр}^k$ (крит) – критическое значение индекса наличия проблемы для k -ой группы факторов;

$b_{j(min)}^k$ – минимальный весовой коэффициент среди всех факторов риска в k -ой факторной группе; j – номер фактора.

В результате с помощью *индекса наличия проблемы* и проведения моделирования в рамках ПОСИО решалась задача информационного управления по поиску такой структуры информированности агентов, чтобы *информационное равновесие* их рефлексивной игры было наиболее предпочтительна с точки зрения центра, осуществляющего управление. Существенным условием достижения указанного результата, как ранее отмечалось, является рассмотрение информации не в качестве средства, а как объект управления. При

наличии всех доступных факторов и за счет приведения всех факторов к *единой размерности* можно было найти индекс общий ($I_{общ}$) [5]. При этом, используя ИНП, можно было не только проводить анализ текущей ситуации, но и прогнозировать её развитие в дальнейшем с учётом того, что каждому выявленному сочетанию неблагоприятных событий K_{ij} ($j = 1, \dots, k_i$), реализуемое в результате принятия решения $R_i \in R$, а также событию N_i приписываются вероятности $p_i(K_{ij})$ и $p_i(N_j)$: $0 \leq p_i(K_{ij}) \leq 1$, которые соответствуют $\sum_{j=1}^{k_i} p_i(K_{ij}) + p_i(N_j) = 1$ [7]. Следовательно, если каждому сочетанию K_{ij} можно поставить описываемое последствие A_{ij} , то величина решения R_i риска I_i определяется по формуле 8:

$$I_i = \sum_{j=1}^{k_i} A_{ij} p_i(K_{ij}), \quad (8)$$

где K_j является средне-ожидаемой величиной ущерба при принятии варианта решения R_j .

При условии перевода данной проблемы в плоскость, когда субъект и объект стремятся к информационному равновесию x_τ^* , $\tau \in \Sigma_+$, при выполнении условия, когда структура информированности I имеет конечную сложность v ; $\forall \lambda, \mu \in \Sigma_+ I_\lambda = I_\mu \Rightarrow x_\lambda^* = x_\mu^*$; $\forall i \in \forall \sigma \in \Sigma$; включая в неё $x_{\sigma i}^* \in \text{Arg max}_{x_i} f_i(\theta_{\sigma i}, x_{\sigma i 1}^*, \dots, x_{\sigma i, i-1}^*, x_i, x_{\sigma i, i+1}^*, \dots, x_{\sigma i n}^*)$, тогда при их одинаковой информированности данная структура минимальна и переходит в равновесие Нэша, делая вектор действий (x_1^*, \dots, x_n^*) равновесным [8].

Заключение. Применение концепции равновесия Нэша при анализе и обработке данных, в которое переходит информационное равновесие x_τ^* , $\tau \in \Sigma_+$, основывается на том, что условием принятия решения является наличие *общего знания* у всех участников данного процесса [9]. Р. Шеннона отмечал, что искусством моделирования могут овладеть те, кто обладает оригинальным мышлением, изобретательностью и находчивостью, равно как и глубоким знанием систем и физических явлений, которые необходимо моделировать. Не существует твердых и эффективных правил относительно того, как надо формулировать задачу в самом начале процесса моделирования, то есть сразу же после первого знакомства с ней [10]. С позиции бизнес-аналитики в её основе лежит организация доступа конечных пользователей к структурированным количественным по своей природе данным и информации о бизнесе [1]. На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что анализ и обработка данных, как часть функции системы управления, необходимо рассматривать с учётом профессиональной специфики и положений теории управления.

Библиографический список

1. Амрина, А.Т. Анализ и обработка данных для построения интерактивных отчетов: магистерская диссертация / А. Т. Амрина. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Институт экономики и управления, Кафедра анализа систем и принятия решений. Екатеринбург, 2019. С.3.
2. Бурков В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. М: СИНТЕГ-ГЕО. 1999. 128 с.
3. Звонарев С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2019. С. 26.
4. Кибанов, А.Я. Основы управления персоналом: Учебник / А.Я. Кибанов. М.: ИНФРА-М, 2002. С. 249.
5. Кожевников А.А. Применение индекса наличия проблемы при сравнительном анализе заболеваемости населения Российской Федерации, Сибирского федерального округа и Кемеровской области / А.А. Кожевников. Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2019. № 2 (46). С. 22-30.
6. Мусаев А.А. Алгоритмы DATA MINING в задачах управления динамическими процессами / А.А. Мусаев, И.А. Барласов. Труды СПИИРАН. 2007. Вып. 5. С. 302.
7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. М.:МПСи, 2005. 584 с.

8. Новиков Д.А. Модели рефлексивного принятия решений / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. Проблемы управления, 2004. выпуск 4. С. 62-70.

9. Чхартишвили А.Г. Информационное равновесие: точечные структуры информированности / А.Г. Чхартишвили. Автоматика и Телемеханика. 2003. № 10. С. 111-112.

10. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / перевод с английского; Р. Шеннон, под ред. Е. К. Масловского. М.: Мир, 1978. 425 с.

О РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ефимов Н.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kolya42hes@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается вариант оптимизации плана развития горных, который преимущественно направлен на оптимизацию путем формирования наиболее перспективных вариантов развития забоев. Само же развитие забоев предполагается моделировать в специально разработанном программном обеспечении, которое бы графически отображало действующие забои и моделировало развитие будущих во временной перспективе посредством ввода и управления пользователем ресурсами предприятия. Такое моделирование реальных процессов на шахте позволит специалистам разного уровня сформировать наиболее эффективные варианты развития забоев.

Ключевые слова: план развития горных работ, оптимизация горных работ, компьютерное моделирование, конвертация данных, разработка программного обеспечения.

Annotation. The article discusses the option of optimizing the mining development plan, which is mainly aimed at optimizing by forming the most promising options for the development of faces. The very development of the faces is supposed to be modeled in specially developed software that would graphically display the existing faces and simulate the development of the future in the time perspective through the input and management of the enterprise resources by the user. Such modeling of real processes at the mine will allow specialists of different levels to form the most effective options for the development of faces.

Keywords: mining development plan, mining optimization, computer modeling, data conversion, software development.

План развития горных работ является обязательным документом для любых горнодобывающих, перерабатывающих и прочих мероприятий по освоению недр земли. Этот документ необходим для функционирования любого горного предприятия и является эффективным механизмом регулирования горных отношений, направленных на оперативное решение проблем, возникающих из-за изменения горно-геологической и горнотехнической обстановки в условиях разработки месторождений полезных ископаемых [1].

Принято, что документ плана должен включать в себя информацию о направленности процессов, объемах рассчитанной добычи, нормативные данные расчета потери ископаемых, мер по защите охраны природы в виде последующей рекультивации земель [2]. Без такого плана невозможны горные работы и соответственно стабильная добыча полезных ископаемых.

Согласно приведенной характеристике, в план развития горных работ входит:

- определение объемов добычи на месторождении и связанных с ней работ;
- нормативы потерь полезных ископаемых при добыче и переработке;
- мероприятия по охране недр и окружающей среды.

Также к плану развития горных работ всегда составляется техническое задание на разработку планов, которое в общем случае состоит из графической части, в которой указываются топографические сведения, погоризонтальные, сводные планы и

пояснительные записки с табличными материалами. В самих же графических материалах содержатся сведения о:

- контурах балансовых запасов и участках нормируемых потерь;
- границах горного и земельного отводов;
- схеме вентиляции, видах механизации выемки;
- скважинах разного назначения;
- геологических нарушениях, погашенных выработках.

Как теперь ясно, этот план включает в себя определение различной информации о направленности работ, развития забоев, нормативах добычи и потери полезных ископаемых и т.д. Принято, что план может быть составлен на год и более длительный срок. Соответственно при таких временных рамках большая часть планов даже при утверждении государственной инспекции нереализуемы, т.к. где-то бригада может не успевать или внезапно возникла горно-геологическая или технологическая проблема.

В рамках работ по оптимизации плана развития горных работ планируется создание специального программного обеспечения, позволяющего построить или дать некоторую перспективную раскройку для развития забоев, на основе решения проблемы расстановки бригад, комбайнов к будущим забоям и последующего моделирования их работ в установленном временном промежутке. Такая программа позволит специалистам горного дела разного уровня и наличия опыта оптимизировать план развития горных работ на основе прогона модели по развитию забоев с учетом параметров скорости проходки, интерактивного решения проблем, и по итогу коллегиального выбора наилучшего варианта.

К основным требованиям к программе относится возможность отображения существующего плана развития горных работ в трехмерном пространстве и последующая расстановка сотрудников и техники на рабочем пространстве с помощью графического пользовательского интерфейса. Для отображения карты планируется создание модуля к основной программе, позволяющего преобразовывать плоскую карту плана в трехмерные объекты. Двухмерная же карта будет переноситься из системы автоматизированного проектирования работ AutoCAD, который пользуется наибольшей популярностью в России у пользователей недр для создания точных 2D схем планов развития горных работ.

Основная проблема отображения плоских схем из AutoCAD в собственном программном обеспечении заключается в получении исходных данных. В качестве исходных данных принимаются координаты x , y , Δx , Δy , которые САПР сохраняет при построении схем. AutoCAD является закрытой системой с точки зрения данных и вытащить из него необходимую информацию можно только посредством экспорта проектов в наиболее удобные форматы или через использование сторонних программ компании Autodesk, расширяющих список возможных форматов для экспорта. Так как иных расходов кроме приобретения AutoCAD для конечного пользователя не планируется, то выбран вариант с получением данных из дистрибутивных форматов экспорта системы автоматизированного проектирования AutoCAD.

AutoCAD предоставляет доступ ко множеству форматов экспорта, но наиболее удобными для работы с данными являются форматы экспорта данных в файлы с расширениями *.dwg, *.dxf, *.fbx [3, 4]. Последний определенный формат FBX наиболее удобен, т.к. этот формат до сих пор поддерживается и обеспечивает взаимодействие между наибольшим числом приложений для создания цифрового контента, но такой формат из AutoCAD нельзя получить из-за чего необходимо использовать промежуточное преобразование формата DWG, путем открытия его в ином продукте Autodesk и последующего экспорта в FBX, что может занять значительное время.

DWG формат является основным форматом САПР-программ для хранения двухмерных и трехмерных данных и метаданных. Однако формат нечитабелен для человека, т.к. хранит данные в виде последовательности байтов и соответственно к использованию имеет множество коммерческих разработок различных ИТ-компаний. Такие разработки

как RealDWG способны легко работать с форматом DWG и читать его, но стоимость слишком велика для простого извлечения данных. К этому формату также имеется некоторая спецификация, составленная сообществом, пользующимся продуктами компании Autodesk через исследование формата путем обратной разработки. Тем не менее, разбор и изучение требует значительное время из-за чего принято решение об использовании в собственной разработке формата DXF.

Формат DXF является открытым к обмену графической информации между САПР приложениями и в конечном состоянии представляет из себя текстовый файл в формате ASCII.

Из файла с расширением *.dxf возможно получить все необходимые исходные данные путем написания не сложного скрипта на каком-либо языке программирования через построчное чтение и извлечение данных или последовательности символов, описывающих линии и иные графические примитивы. Из описания ясно, что в итоге будет создан собственный синтаксический анализатор для формата DXF.

Так, для реализации проектируемого программного обеспечения планируется использование языка программирования C# и платформы для разработки графических кроссплатформенных приложений Unity. C# является на текущий момент одним из самых мощных и востребованных объектно-ориентированных языков программирования, а Unity ядром и инфраструктурой, образующей систему для визуализации и взаимодействию с двухмерным или трехмерным пространством. Такая комбинация позволит реализовать целевую программу без особых сложностей и дополнительных финансовых затрат, т.к. C# и Unity имеют бесплатные версии и многочисленное сообщество разработчиков, готовое делиться знаниями.

Таким образом, разработка плана развития горных работ всегда трудоемкий процесс, который по большей части заключается в планировании. Разрабатываемое программное обеспечение призвано облегчить мероприятия по оптимизации плана развития горных работ должно. В итоге программа должна дать специалистам возможность моделировать различные варианты развития забоев шахты, чтобы на их основе можно было выбрать наилучший вариант. Разработка же такого приложения по большей части имеет высокие трудозатраты в плане получения данных из открытого формата DXF, который генерирует САПР AutoCAD, т.к. только решив вопрос с получением исходных данных, можно начинать составлять программу по визуализации плоских объектов схемы развития горных работ в трехмерном пространстве, которое предоставляет платформа Unity.

Библиографический список

1. Роут, Г.Н. Планирование горных работ на шахтах: учебное пособие / Г.Н. Роут, Г.А. Корецкая. – Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017.
2. Бахаева, С.П. Планирование горных работ на разрезах: учебное пособие / С.П. Бахаева, Е.В. Ананенко. – Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2020.
3. Жарков, Н.В. AutoCAD 2020. Полное руководство / Н.В. Жарков, М.В. Финков. – СПб. : Наука и Техника, 2020.
4. Кроков, А.Ю. Компьютерная графика : учебное пособие / А.Ю. Кроков. – Пермь: Пермский гос. технический университет, 2020.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНОМ ГЕОМАССИВЕ ПРИ ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Павлова Л.Д., Петрова О.А., Фрянов В.Н.

Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, Россия, ld_pavlova@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве в окрестности системы взаимовлияющих подземных выработок. По результатам вычислительных экспериментов установлены зависимости распределения напряжений и остаточной прочности угля и пород в угольном пласте при приближении очистного забоя к демонтажной камере.

Ключевые слова: моделирование, вычислительный эксперимент, подземная выработка, угольный пласт, напряжения, зона разрушения, остаточная прочность.

Abstract. The article presents the results of modeling geomechanical processes in a structurally heterogeneous geo-massif in the vicinity of a system of mutually influencing underground workings. Based on the results of computational experiments, the dependences of the distribution of stresses and the residual strength of coal and rocks in the coal seam were established when the working face approaches the dismantling chamber.

Keywords: modeling, computational experiment, underground working, coal seam, stresses, fracture zone, residual strength.

Введение

В горной практике наиболее значимыми и опасными являются горнотехнические условия при взаимном влиянии системы подземных выработок в виде их сопряжений, пересечений, примыканий. В этих случаях возникает сложная геомеханическая ситуация, связанная с перераспределением напряжений и деформаций в неоднородном геомассиве, разрушением угля и пород, риском возникновения опасных производственных событий. Система управления горными работами включает направленные изменения топологии горных выработок при движении очистных и подготовительных забоев, что приводит к перераспределению напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в зоне влияния выработок.

При моделировании напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности выработок необходимо рассматривать все стадии упругого, упруго-пластического, предельного и запредельного деформирования пород [1-2]. На каждом из этапов эксплуатации подземных выработок требуется количественная оценка параметров геомеханического состояния массива горных пород, необходимых для выбора способов и средств поддержания выработок с помощью крепи, химического упрочнения или искусственного снижения механических напряжений посредством принудительного управления подработанных кровлей.

В этой связи актуальными являются исследования, направленные на прогнозирование по результатам численного моделирования параметров напряжённо-деформированного состояния структурно неоднородного геомассива при взаимном влиянии системы горных выработок.

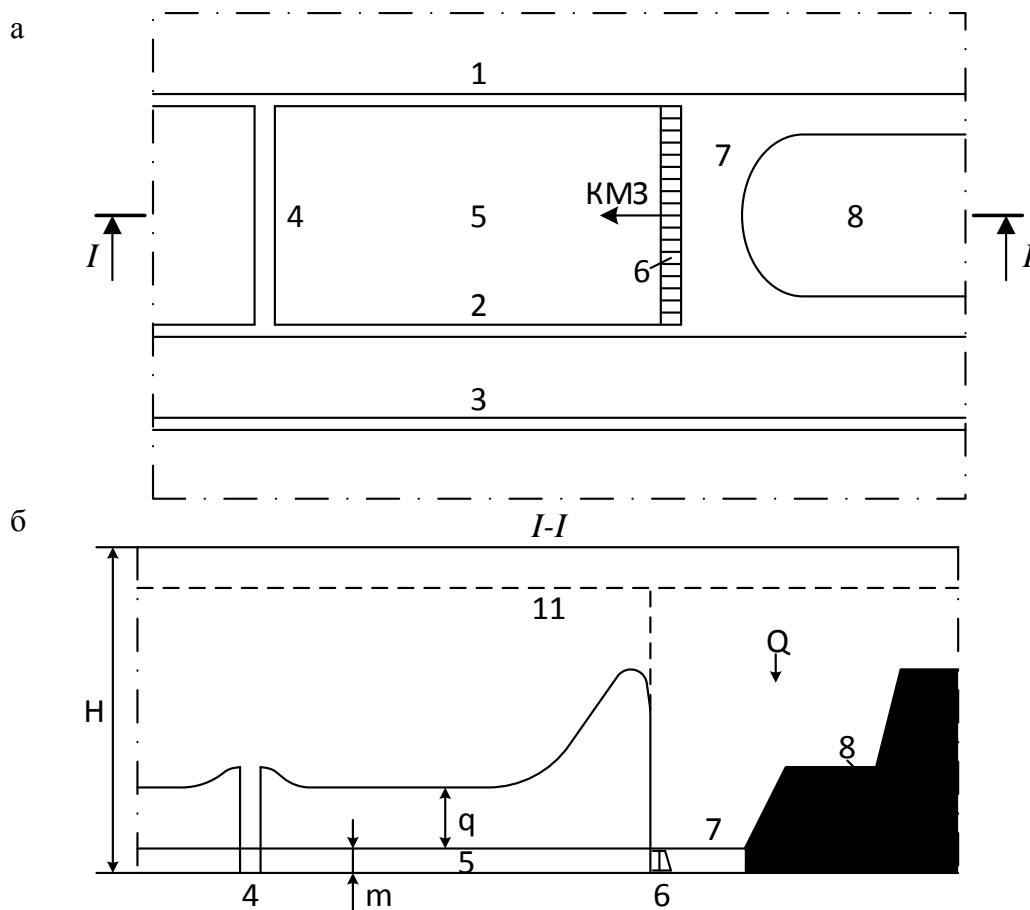
Характеристика объекта исследований

В качестве объекта исследований рассмотрен выемочный столб (рисунок 1) в угольном пласте, который оконтурен штреками и обрабатывается длинным комплексно-механизированным забоем с полным обрушением подработанных пород кровли.

До начала горных работ вертикальное давление на угольный пласт соответствует удельному весу пород кровли

$$\sigma_{\text{г}}^0 = \gamma H, \quad (1)$$

где γ - средняя плотность горных пород; H - глубина разработки.



1, 3 - вентиляционные штреки; 2 - конвейерный штрек; 4 - демонтажная камера;
 5 - угольный пласт; 6 - очистной забой; 7 - подработанные зависающие породные слои
 кровли пласта; 8 - подработанные разрушенные породы кровли пласта; 9 - эпюра вертикальных
 напряжений в угольном пласте; 10 - земная поверхность; 11 - граница наносов; m- мощность
 пласта, м; Н - глубина разработки, м; q - вертикальное давление на пласт, МПа;
 Q - вес подработанных зависающих породных слоёв кровли пласта, кН

Рисунок 1 - Схема объекта исследования: а - горизонтальная проекция выемочного столба;
 б - вертикальный разрез по линии I-I

После доработки выемочного столба (5) на его границе потребуется демонтаж тяжёлого очистного оборудования. Для этого впереди комплексно-механизированного забоя (КМЗ) заблаговременно проводится демонтажная камера (4).

В процессе отработки угольного пласта часть веса Q подработанных пород кровли передается на краевую часть пласта и вертикальное давление $\sigma_E^i = q$ изменяется. Для оценки вертикального σ_E^i давления вычисляются коэффициенты концентрации вертикальных напряжений:

$$K_E = \frac{\sigma_E^i}{\sigma_E^o}; \quad (2)$$

где σ_E^o, σ_E^i - вертикальные напряжения в массиве горных пород, вычисленные соответственно вне и в зоне влияния подземных выработок.

Алгоритмы расчёта напряжений, деформаций и смещений базируются на фундаментальных основах теории упругости, пластичности и ползучести [3,4]. Для расчёта изменений прочности угля и пород под влиянием вектора напряжений используется паспорт прочности пород, параметры которого определяются по криволинейной огибающей кругов Мора.

Для построения паспорта прочности угля или пород использованы величины пре-

дела прочности угля или пород при одноосном сжатии ($\sigma_{сж}$), растяжении (σ_p) и главных напряжений σ_1 и σ_2 . Величины $\sigma_{сж}$, σ_p определяются в лабораторных или шахтных условиях и систематизированы в справочнике [8]. Главные напряжения для плоско-деформированного состояния геомассива вычисляются по формулам [5]:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2};$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2},$$
(3)

где σ_x , σ_y – нормальные напряжения по осям координат, МПа; τ_{xy} – касательные напряжения в плоскости xOy, МПа.

Отношение остаточной прочности к исходной определяется по формуле

$$R = \frac{\tau_{пасп}}{\tau_{МКЭ}},$$
(4)

где $\tau_{пасп}$ – касательные напряжения, вычисленные по паспорту прочности;

$\tau_{МКЭ}$ – касательные напряжения, вычисленные методом конечных элементов.

При анализе отношения остаточной прочности угля и пород к исходной по результатам массового обследования состояния угля и пород на контуре выработок приняты следующие критерии: $R > 1,0$ – уголь или порода находятся в упругом состоянии без нарушения сплошности; $0,8 \leq R < 1$ – уголь или порода находятся в блочном состоянии, нарушены крупными трещинами; $0,5 \leq R < 0,8$ – уголь или порода находятся в запредельном состоянии, нарушены системой трещин; $R < 0,5$ уголь или порода разрушены, наблюдается их интенсивный отжим с боков выработки [6, 7].

Исследуемая область массива горных пород в виде вертикального разреза по линии I-I рис. 1б всей толщи автоматически разделяется на 40400 конечных элементов. При этом задается слоистая неоднородная структура породных слоёв и угольных пластов с учётом реальной стратиграфии и литологии, а также индивидуальных прочностных и деформационных свойств угольных пластов и породных слоёв.

Варианты геомеханической задачи решаются с учетом гравитационного, геотектонического и техногенного полей напряжений и в каждом варианте определяется полный вектор смещений, деформаций, напряжений и отношение остаточной прочности угля или пород к исходной.

Выявление закономерностей распределения параметров напряжённо-деформированного состояния структурно неоднородного геомассива пород при разных расстояниях между очистным забоем и демонтажной камерой осуществляется по результатам численного моделирования с использованием алгоритма метода конечных элементов и авторского комплекса программ [8].

Результаты и их обсуждение

В соответствии с разработанной методикой и программой исследований проведено численное моделирование геомеханических процессов при приближении очистного забоя к демонтажной камере 4-1-5-6. Рассмотрены варианты наложения геомеханических параметров в окрестности очистного забоя и демонтажной камеры при сокращении расстояния между ними 100, 25, 3, 0 м. В качестве исходных в модели приняты следующие параметры: глубина разработки $H=710$ м; мощность отрабатываемого пласта $m=3,0$ м; предел прочности угля при сжатии 10, непосредственной кровли 30; основной кровли 50, непосредственной почвы 35 МПа [9].

На рисунках 2 и 3 показаны графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений.

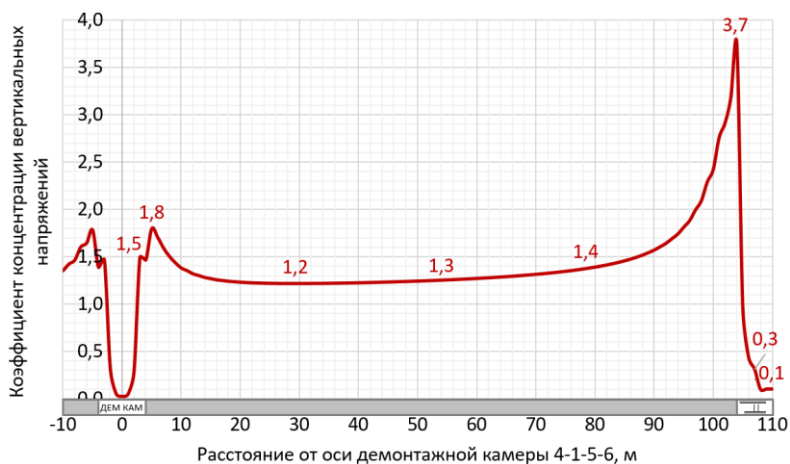


Рисунок 2 - Схема взаимного расположения очистного забоя и демонтажной камеры и график изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при расстоянии между КМЗ и демонтажной камерой 100 м

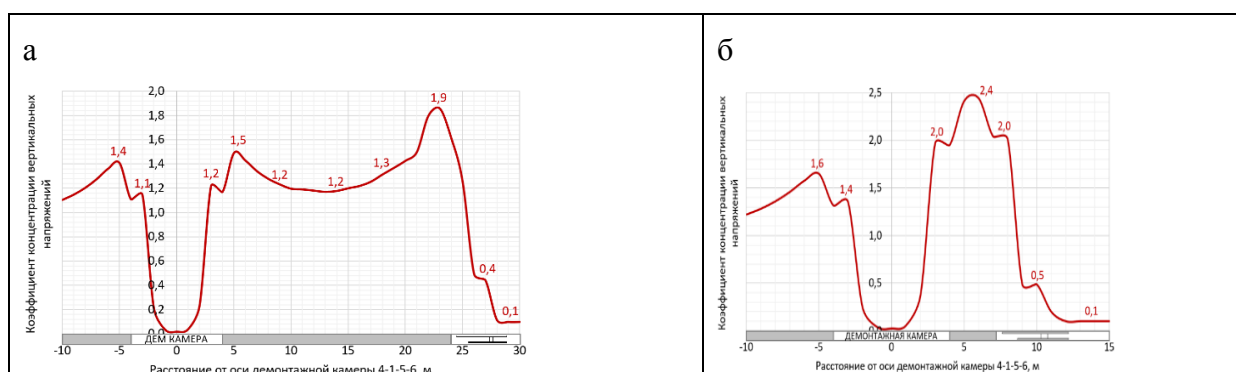


Рисунок 3 - Схема взаимного расположения очистного забоя и демонтажной камеры и график изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при расстоянии между КМЗ и демонтажной камерой 25 м (а) и 3 м (б)

Из графиков рисунков 2 и 3 следует, что в пределах сокращаемого угольного целика между КМЗ и демонтажной камерой коэффициент концентрации больше единицы и увеличивается при уменьшении ширины целика. При этом максимум опорного горного давления перемещается в сторону демонтажной камеры и за камеру. Увеличение вертикальных напряжений в середине целика до 40 МПа при прочности угля 10 МПа может привести к разрушению угля в целике и пород в окрестности демонтажной камеры.

На рисунке 4 показано изменение отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности демонтажной камеры. При ширине целика 3 м (рисунок 4 а) происходит его разрушение, а также пород кровли камеры. При въезде КМЗ в демонтажную камеру (рисунок 4 б) ее устойчивость не обеспечивается, так как под секцией крепи возникает дополнительная зона разрушения в почве пласта.

По результатам моделирования обоснованы управляющие воздействия в виде следующих технологических мероприятий:

- установка сталеполимерных анкеров длиной 2,0-2,5 м в кровле и боках демонтажной камеры;
- установки канатных анкеров длиной до 6,0 м в кровлю демонтажной камеры;
- упрочнение угольного пласта клеевыми составами;
- установка дополнительных секций механизированной крепи в демонтажной камере;
- формирование демонтажной камеры очистным комбайном.

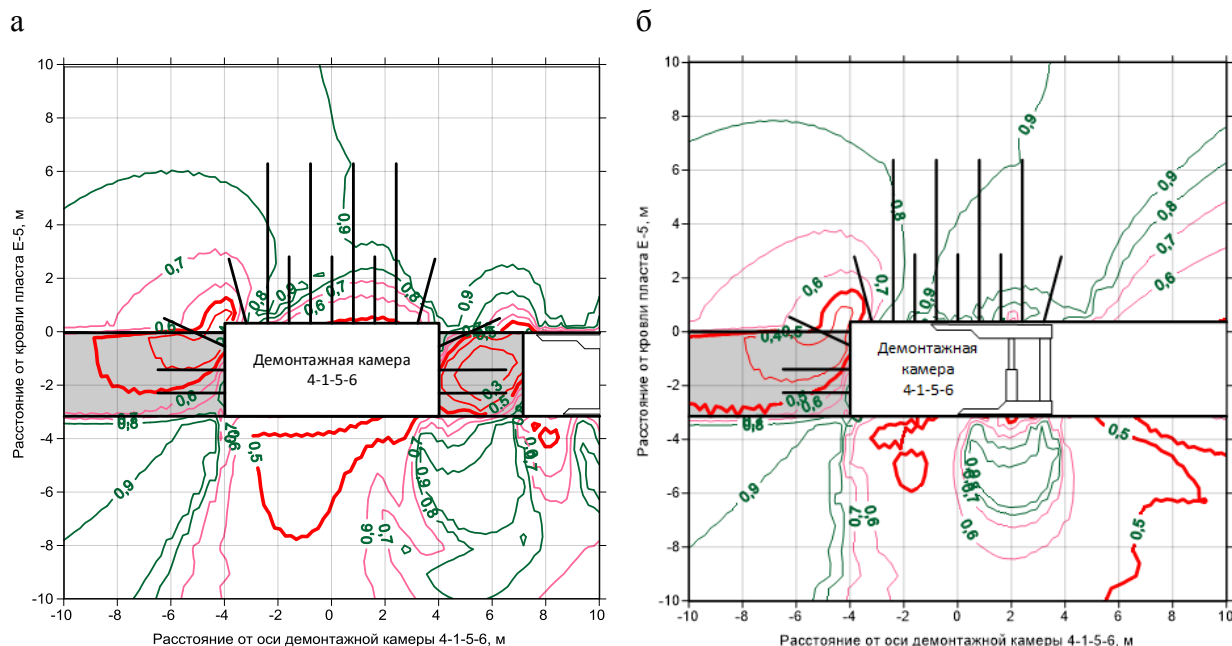


Рисунок 4 - Изолинии изменения отношение остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности демонтажной камеры: а - при ширине целика 3м; б – при въезде секции крепи в демонтажную камеру

Обобщённые результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород при разной ширине сокращаемого целика между комплексно-механизированным очистным забоем и демонтажной камерой представлены в таблице 1. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования рекомендаций по выбору параметров заранее формируемой камеры.

Таблица 1 - Результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния геомассива при разной ширине угольного целика

Наименование параметра	Величина параметра			
	100	20	3	0
Ширина целика, м	100	20	3	0
Максимальный коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевой части пласта у КМЗ	3,7	1,9	2,4	0
Максимальный коэффициент концентрации вертикальных напряжений в боках демонтажной камеры	1,8	1,5	1,6	1,8
Высота зоны предразрушения пород кровли в демонтажной камере, м	2,5	1,8	1,8	1,8
Глубина зоны предразрушения пород почвы в демонтажной камере, м	3,0	2,5	4,0	6,0
Ширина зоны предразрушения пласта в ближнем к КМЗ боку демонтажной камеры, м	3,0	3,0	3,0	-
Ширина зоны предразрушения пласта в дальнем от КМЗ боку демонтажной камеры, м	3,0	2,0	5,0	5,0
Конвергенция кровли и почвы демонтажной камеры, мм	160	110	180	180
Конвергенция боков демонтажной камеры, мм	80	80	120	-

Выводы

По результатам вычислительных экспериментов по оценке параметров геомеханического состояния массива горных пород между очистным забоем и расположенной впереди его демонтажной камерой и установлено, что при сокращении угольного целика между очистным забоем и камерой происходит перераспределение вертикальных напряжений от очистного забоя в сторону боков демонтажной камеры.

Граница зоны разрушения угольного пласта в боках демонтажной камеры соответствует ширине целика, равной мощности пласта.

На стадии разработки проектной документации рекомендуется проводить количественную оценку устойчивости угля в боках демонтажной камеры и при возникновении зоны разрушения пласта в боках камеры применять технологию упрочнения пород с применением специальных типов крепи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-41-420004.

Библиографический список

1. Курленя М.В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Ерёмченко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
2. Серяков В.М. Особенности формирования зон опорного давления и разгрузки при ведении очистных работ на сближенных угольных пластах / В.М. Серяков // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. - 2019. № 5. - С. 52 - 55.
3. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов - М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
4. Ползучесть осадочных горных пород. Теория и эксперимент / Ж.С. Ержанов, А.С. Сагинов, Г.Н. Гуменюк, Ю.А. Векслер, Г.А. Нестеров. – Алма-Ата: Наука, 1970. – 208 с.
5. Тимошенко С.П. Теория упругости/ С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
6. Цветков А.Б. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива с учетом расслоения подработанных пород кровли / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, Корнева А.В. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 1. – С. 142–145.
7. Фрянов В.Н. Численное исследование влияния структурной неоднородности массива горных пород на геомеханические параметры выемочного участка угольной шахты / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 8. – С. 95-98.
8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618595. Программный комплекс для моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве при взаимном влиянии системы подземных горных выработок / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова, А.Б. Цветков; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Фед. служба по интеллект. собств.; Дата регистр. 30 июля 2020.
9. Физико-технические свойства горных пород и углей / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. - 447 с.

СЕКЦИЯ 2
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ОФ «ШАХТА №12» НА БАЗЕ ПАКЕТА AVEVA SYSTEM PLATFORM 2017

Иванов Д. В., Мышляев Л.П., Кулюшин Г.А., Коровин Д.Е., Грачев В.В.

Научно-исследовательский центр систем управления, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Статья посвящена особенностям разработки и внедрения системы диспетчеризации ОФ «Шахта №12» на базе пакета Aveva System Platform 2017. Рассмотрен объектно-ориентированный подход при разработке системы диспетчеризации, включающий в себя два этапа: разработку логической и графической моделей. Описаны преимущества использования объектно-ориентированного подхода пакета ASP 2017 при разработке системы диспетчеризации ОФ «Шахта №12».

Ключевые слова: система диспетчеризации, обогатительная фабрика (ОФ), Aveva System Platform 2017 (ASP 2017), объектно-ориентированный подход.

Abstract. The article is devoted to the features of the development and implementation of the dispatching system of Mine No. 12 based on the Aveva System Platform 2017 package. An object-oriented approach to the development of a dispatching system is considered, which includes two stages: the development of logical and graphical models. The advantages of using the object-oriented approach of the ASP 2017 package in the development of the dispatching system of Mine No. 12 are described.

Keywords: dispatching system, processing plant (PP), Aveva System Platform 2017 (ASP 2017), object-oriented approach.

Система диспетчеризации обогатительной фабрики (ОФ) «Шахта №12» (г. Киселевск, Кемеровская область) реализована на основе пакета Aveva System Platform 2017 (ASP 2017) компании Aveva (Великобритания). Главным достоинством пакета ASP 2017 является возможность использования объектно-ориентированного подхода при разработке системы диспетчеризации. Данная особенность реализована за счет использования мастера объектов и встроенного графического редактора.

Каждый технологический агрегат в системе диспетчеризации, создаваемой на базе пакета ASP 2017, разрабатывается в два этапа: создание логической модели и создание графической модели.

На первом этапе разрабатывается логическая модель, включающая в себя атрибуты технологических объектов, скрипты, конфигурации алармов и трендов. Прорабатывается наследование от родительского объекта к дочернему в следующей иерархии: базовый шаблон, индивидуальные шаблоны и экземпляры объектов (рисунок 1) [1].

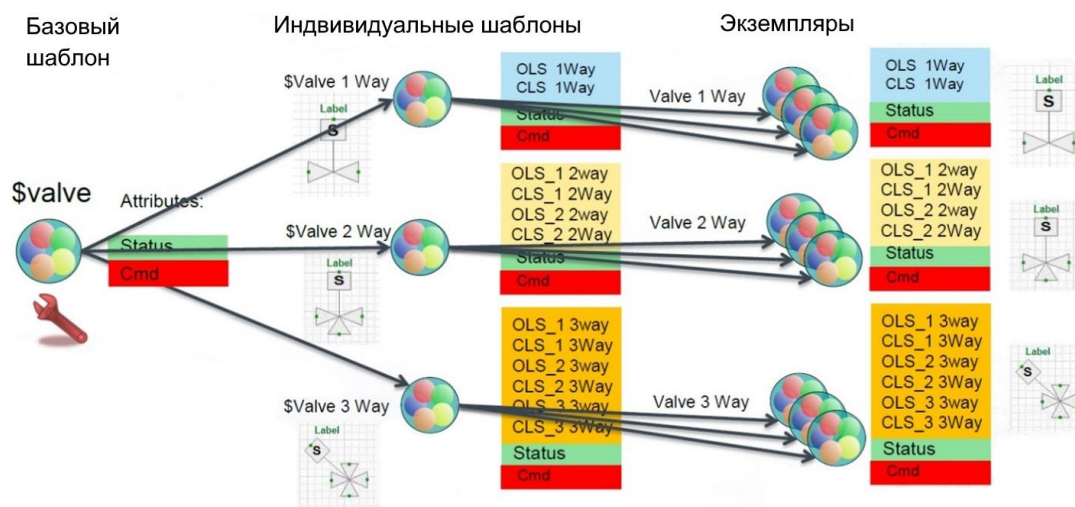


Рисунок 1 – Иерархия наследования объектов в пакете ASP 2017

Создание и конфигурирование логических моделей осуществляется с помощью среды ArchestrA IDE. Для всех технологических агрегатов создается базовый шаблон, в кото-

ром определены атрибуты и скрипты, наследуемые во всех объектах, создаваемых из данного шаблона. Далее для каждого вида агрегатов создается индивидуальный шаблон на основе базового. Каждый индивидуальный шаблон является мастером объектов, в котором есть возможность редактировать типы, ассоциации, атрибуты и символы (рисунок 2).

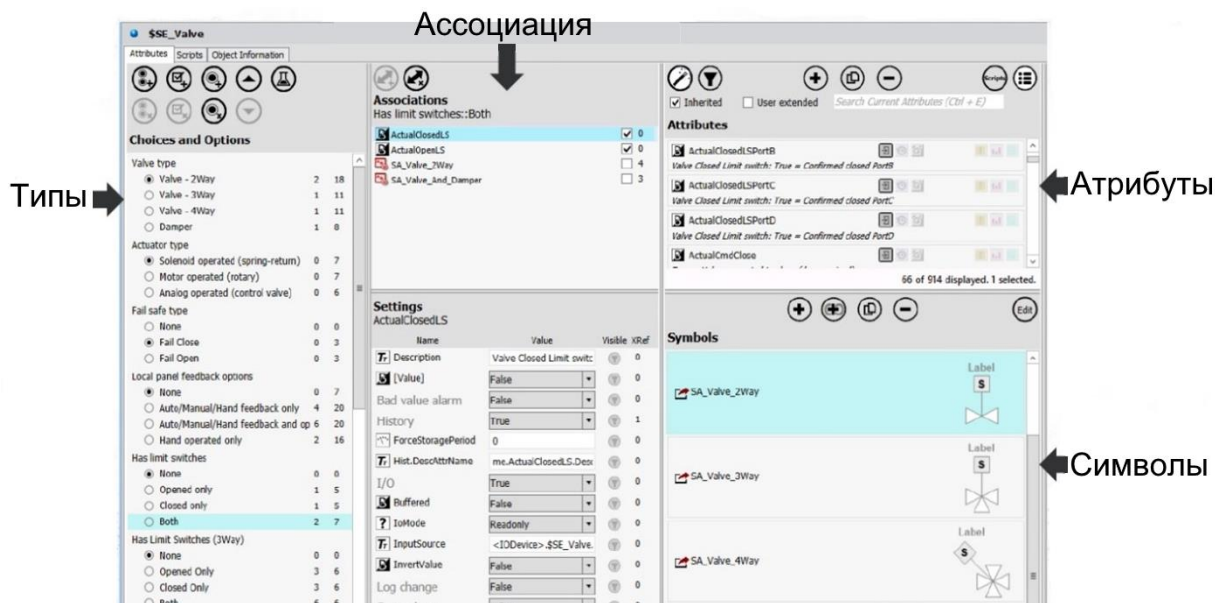


Рисунок 2 – Пример мастер-объекта

В терминологии ASP 2017, типы – это переключатели двух видов: выбор и опция, позволяющие сделать стандартизацию всех возможных комбинаций признаков. Ассоциация – это набор атрибутов, скриптов и символов, соответствующий каждому типу. Атрибуты – это набор признаков и команд каждого индивидуального шаблона. Символы – это графические представления агрегата. К ним относятся изображения на мнемосхеме и всплывающие диагностические окна.

В мастере объектов создаются все возможные атрибуты на первом родительском уровне. После этого с помощью типизации создаются кластеры с необходимыми ассоциациями.

Использование мастера объектов в качестве индивидуального шаблона имеет ряд преимуществ.

1. Стандартизация индивидуальных шаблонов путем интеграции всех возможных вариантов оборудования позволяет снизить количество объектов и наследуемых шаблонов.
2. Снижение количества уровней наследования упрощает редактирование и управлению моделью.
3. Мастер объектов позволяет сконфигурировать опции (набор атрибутов, графики и скриптов) для последующей сборки экземпляра из них.
4. Отсутствие избыточных атрибутов у экземпляров объектов ведет к повышению производительности.

На втором этапе разрабатывается графическая модель технологического агрегата, включающая в себя представления объектов на мнемосхеме и всплывающие диагностические окна агрегатов. Прорабатывается компоновка признаков на диагностических окнах, цветовые решения и логика ссылочной связи между логической и графической моделями [2].

Для каждого вида агрегатов создаются всплывающие диагностические окна. Использование индиректных переменных позволяет передавать в один шаблон диагностического окна не только значения конкретных атрибутов, но и их описание. Это позволяет сократить число создаваемых окон.

Разработка и внедрение прикладного программного обеспечения системы диспетчеризации ОФ «Шахта №12» на базе пакета ASP 2017 осуществлялось в несколько этапов.

На первом этапе был произведен анализ признаков и команд технологических агрегатов. Для примера на рисунке 3 представлены некоторые признаки конвейера поз. 201. На основании анализа были распределены атрибуты между базовым шаблоном и индивидуальными шаблонами агрегатов [3].

Конвейер поз. 201		
1	Состояние агрегата "Пуск"	K201_F141
2	Состояние агрегата "Останов"	K201_F142
3	Состояние агрегата "Работа"	K201_F15
4	Состояние агрегата "Неготовность"	K201_F13
5	Состояние агрегата "Авария"	K201_F16
6	Слово режимов	K201_RU
7	Режим управления "Местный"	K201_RM
8	Режим управления "Дистанция без блокировок"	K201_RD
9	Режим управления "Дистанция с блокировками"	K201_RDB
10	Режим управления "Автомат"	K201_RA
Аварийные признаки		
Признаки формируются в других местах		
-	Нет связи с корзиной контроллера ШУ1.2, п.2	SU12_ROUT2
-	Нет напряжения на вводе 1 ШУ1.2 (KV1)	SU12_PWR1
-	Нет напряжения на вводе 2 ШУ1.2 (KV1)	SU12_PWR2
-	Отсутствует питание внешних цепей ШУ12, п.1	SU12_DC1
-	Отсутствует питание внешних цепей ШУ12, п.2	SU12_DC2
-	Нет напряжения на шинах щита 1Щ1	SCH1_1_PWR
1	Слово аварийных признаков 1	K201_FLT1
2	Нет напряжения 24В (-FU1)	K201_FU
3	Сработала защитная автоматика (Щит 1Щ1: (-QF2, -SF1, -SF2, -SF3, -SF4, -SF5))	K201_SFQF
4	Нажата кнопка «Стоп» (в начале линии)	K201_STOP1
5	Нажата кнопка «Стоп» (в конце линии)	K201_STOP2

Рисунок 3 – Таблица признаков конвейера поз. 201

На втором этапе для всех агрегатов был создан базовый шаблон «\$Agregat», в котором были прописаны базовые атрибуты, присутствующие во всех технологических агрегатах. К ним были отнесены: команды «Пуск» и «Стоп», текущее состояния агрегата, режим управления, количество моточасов, количество моточасов от сброса, позиция агрегата (рисунок 4). Для каждого атрибута было задано имя, описание, тип данных, возможности записи значений пользователем, обмена данными и сохранения истории значений атрибута.

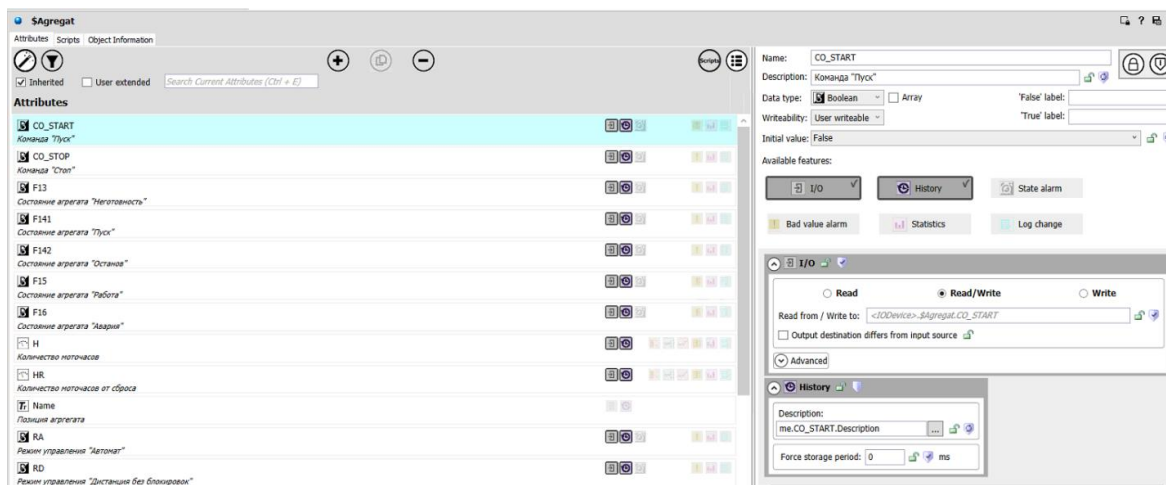


Рисунок 4 – Базовый шаблон «\$Agregat»

Далее, на третьем этапе, для каждого вида технологических агрегатов был создан индивидуальный шаблон: для конвейеров – шаблон с именем «\$K», для грохотов – «\$GR», для насосов – «\$N» и т. д. В них были прописаны атрибуты, соответствующие данным видам технологических агрегатов [4]. В рамках данной системы была произведена стандартизация экземпляров и типизация атрибутов в индивидуальных шаблонах. Рассмотрим данную типизацию на примере шаблона «конвейер» – «\$K».

Для шаблона «конвейер» была произведена типизация по количеству значений атрибутов для одних признаков и типизация по наличию для других признаков (рисунок 5).



Рисунок 5 – Типизация шаблона «конвейер» – «\$K»

Данные операции по типизации шаблонов были произведены для всех индивидуальных шаблонов технологических агрегатов.

На следующем этапе из индивидуальных шаблонов были созданы экземпляры объектов, наследующие атрибуты и скрипты из родительских шаблонов. В каждом экземпляре объекта с помощью меню выбора параметров осуществляется необходимая конфигурация атрибутов агрегата. Например, на рисунке 6 произведена конфигурация параметров для конвейера поз. 201.

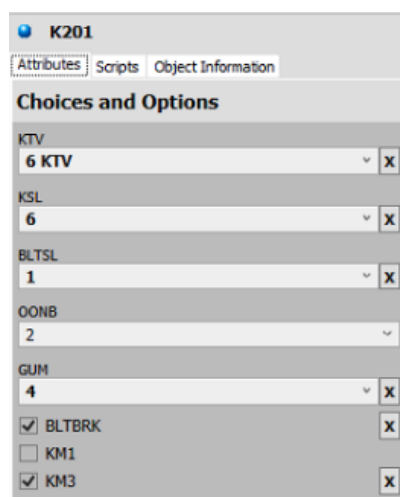


Рисунок 6 – Меню выбора параметров экземпляра агрегата

При разработке графической модели были созданы графические шаблоны всех технологических агрегатов различных видов. Для различных видов технологических агрегатов созданы разные мнемонические изображения. Пример соответствия мнемонических изображений технологических агрегатов разных видов одной логической модели представлен на примере грохота на рисунке 7.

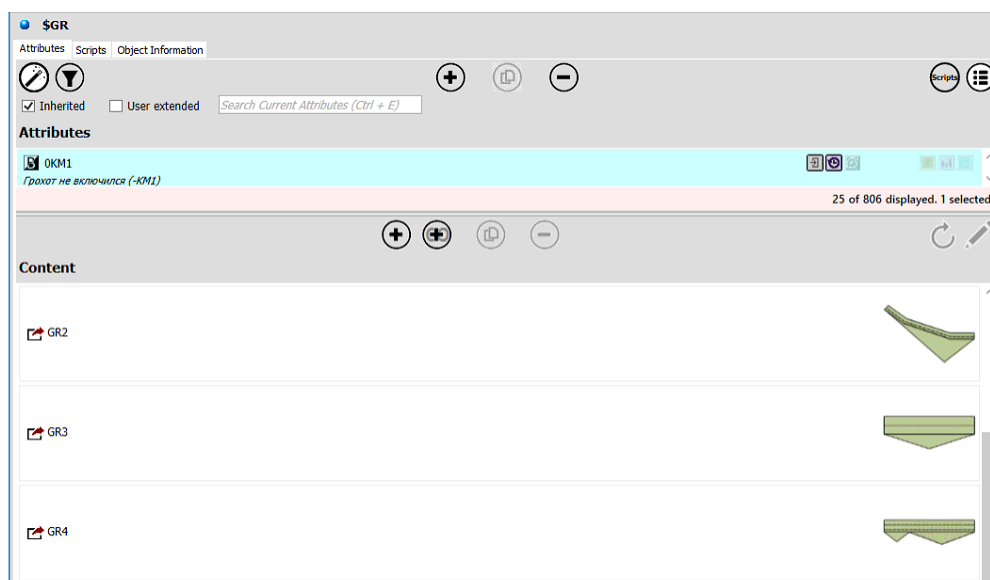


Рисунок 7 – Связь индивидуального шаблона с несколькими мнемоническими изображениями грохота

Достоинством пакета ASP 2017 является использование библиотеки стилей. Данное решение позволяет задавать параметры линий, свойства фона, цвет заливки мнемонического изображения, анимации объекта и использовать в дальнейшем данные параметры во всех экземплярах агрегатов проекта.

На заключительном этапе осуществляется анимирование мнемонических изображений агрегатов и всплывающих диагностических окон. Анимация реализуется с использованием индиректных переменных, передающих в шаблоны диагностических окон и мнемонических изображений агрегатов значения и описания конкретных атрибутов. Пример соответствия между состояниями агрегатов, цветами их мнемонических изображений и используемого стиля приведен в таблице 1. В качестве примера, в четвертом столбце таблицы 1 представлены мнемонические изображения конвейера при его различных состояниях.

Таблица 1 – Таблица соответствия состояния конвейера, цвета мнемонического изображения и используемого стиля

Состояние агрегатов	Цвет мнемонического изображения	Используемый стиль	Мнемоническое изображение конвейера
Неготовность	Желтый	ColorN	
Работа	Ярко-зеленый	ColorR	
Пуск	Ярко-зеленый мигающий	ColorP	
Останов	Ярко-зеленый мигающий	ColorP	
Авария	Красный	ColorA	
Стоп	Серо-зеленый	ColorS	

Использование объектно-ориентированного подхода в пакете Aveva System Platform 2017 позволило значительным образом сократить сроки разработки системы диспетчеризации ОФ «Шахта № 12» и упростить внесение изменений при её эксплуатации. Многие решения с незначительными корректировками возможно использовать для создания автоматизированных систем управления другими предприятиями отрасли горной промышленности.

Библиографический список

1. Иванов Д.В. Использование объектно-ориентированного подхода при разработке информационного обеспечения систем диспетчеризации углеобогажительных фабрик / Д.В. Иванов, М.В. Шипунов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – Т.1. – С. 369.
2. Иванов Д.В. Совершенствование верхнего уровня системы автоматизации управления технологическим комплексом обогатительной фабрики/ Д.В. Иванов, Д.Е. Коровин // Наука и молодежь: научный журнал – СибГИУ. – Новокузнецк, 2018. – Вып. 22. – Ч. III. Технические науки. – С. 119 – 123.
3. Иванов Д. В. Объектно-ориентированный подход при создании системы сбора данных и визуализации конвейерного транспорта/ Иванов Д. В., Ляховец М.В., Коровин Д.Е. // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS'2019: Труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Новокузнецк. СибГИУ, 2019. – С. 163-165.
4. Грачев В.В. Информационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическими процессами сушильно-топочного отделения обогатительной фабрики «Шахта №12» / В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, Д.В. Иванов, Д.Е. Коровин, Г.А. Кулюшин // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды V Международной научно-практической / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общей редакцией И.А. Рыбенко, Т.В. Киселевой. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2021. – С. 330 – 335.

О КОРРЕКТНОСТИ РАСЧЕТА СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНЕЧНОГО ШЛАКА В АРМ ТЕХНОЛОГА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В., Щипанов К.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия, n.a.spirin@urfu.ru

Аннотация. Выполнена оценка корректности расчета состава и свойств конечного шлака в АРМ технолога доменной печи. Оценка выполнена на основе расчета коэффициентов парной корреляции между фактическими показателями работы на отдельных выпусках доменной печи и показателями, рассчитанными по модели процесса. Коэффициент парной корреляции фактического и расчетного (по химическому составу загружаемых шихтовых материалов) содержания отдельных компонентов в конечном шлаке составил от 0,81 до 0,97.

Ключевые слова: доменная печь, конечный шлак, оценка, диагностика, моделирование, программное обеспечение.

Abstract. The estimation of the correctness of the calculation of the composition and properties of the final slag in the workstation of the blast furnace technologist software is carried out. The assessment was carried out on the basis of calculating the coefficients of pair correlation between the actual indicators of work on separate outlets of the blast furnace and the indicators calculated using the process model. The pairwise correlation coefficient of the actual and calculated (in terms of the chemical composition of the loaded charge materials) content of individual components in the final slag was from 0.81 to 0.97.

Keywords: blast furnace, final slag, estimation, diagnostics, modeling, software.

Шлаковый режим доменной плавки в существенной степени определяет важнейшие технико-экономические показатели доменной печи – удельный расход кокса и производительность [1-3]. Состав шлака, его удельный выход и свойства оказывают воздействие на газодинамические, тепловые и восстановительные процессы, протекающие в до-

менной печи.

Ранее была разработана математическая модель и система контроля и диагностики шлакового режима доменной печи для АРМ технолога доменной печи. Она включает следующие расчётные блоки: определения выхода, состава и политермы вязкости конечного шлака; расчёта десульфурирующей способности шлака; диагностики шлакового режима [4-6].

Для оценки корректности расчета выполнены расчеты состава и свойств конечного шлака по модели процесса и сравнение с их фактическими показателями на отдельных выпусках за 5 лет работы доменных печей ПАО «ММК». Проведено сравнение среднемесячных фактических и расчетных (по химическому составу загружаемых шихтовых материалов) величин содержания оксидов в шлаке и основностей шлака на всех доменных печах. На рисунках 1–7 в качестве примера представлены фрагменты графической визуализации результатов сопоставления во времени фактических и расчетных величин для одной из доменных печей.

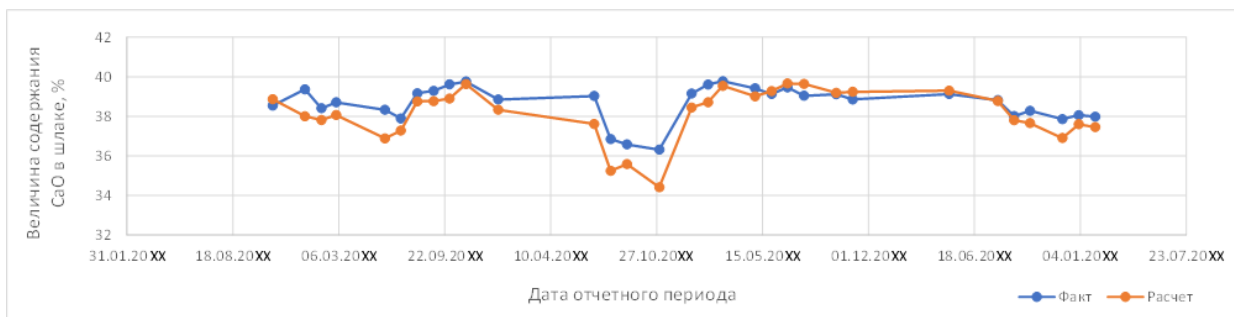


Рисунок 1 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин содержания CaO в шлаке



Рисунок 2 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин содержания SiO₂ в шлаке



Рисунок 3 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин содержания MgO в шлаке



Рисунок 4 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин содержания Al_2O_3 в шлаке

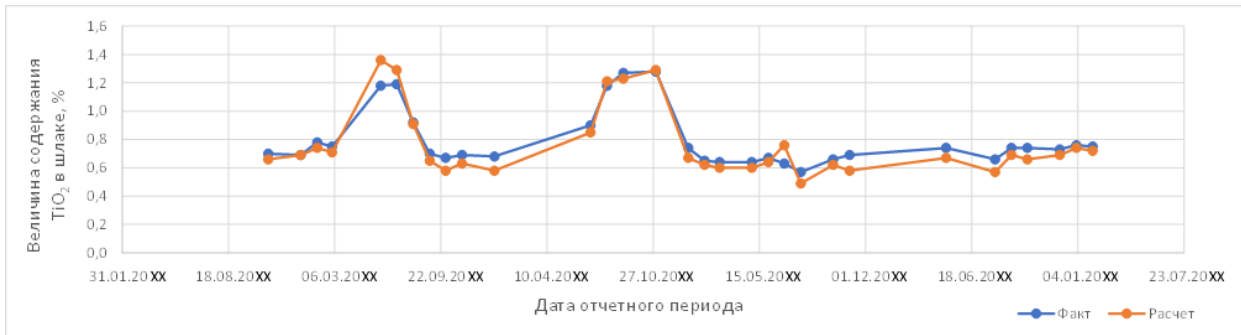


Рисунок 5 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин содержания TiO_2 в шлаке

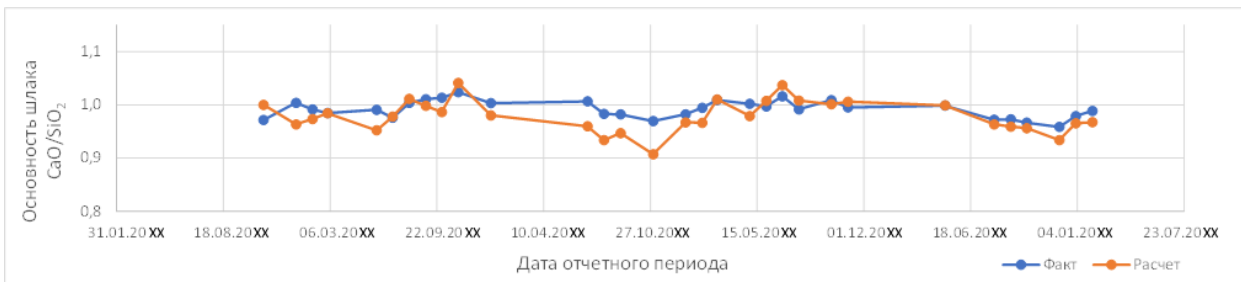


Рисунок 6 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин основности CaO/SiO_2 шлака



Рисунок 7 – Сопоставление во времени фактических и расчетных величин основности $(CaO+MgO)/SiO_2$ шлака

Результаты статистической обработки показателей шлакового режима для оценки тесноты корреляционной зависимости за 12294 выпуска на одной из доменных печей представлены в таблице 1.

Коэффициент парной корреляции фактического и расчетного содержания отдельных компонентов в конечном шлаке составил от 0,81 до 0,97. Минимальное значение этого коэффициента соответствует содержанию SiO₂ в чугуне и обусловлено значительным влиянием теплового режима доменной плавки на его содержание в шлаке. Аналогичные закономерности характерны и для остальных доменных печей.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки показателей шлакового режима для оценки тесноты корреляционной зависимости

Наименование показателя	Величина показателя
Коэффициент парной корреляции по:	
CaO	0,91
SiO ₂	0,81
MgO	0,94
Al ₂ O ₃	0,93
TiO ₂	0,97
Значение t-критерия Стьюдента:	
CaO	12,1
SiO ₂	7,4
MgO	14,9
Al ₂ O ₃	13,8
TiO ₂	23,4
Критическое значение t-критерия	2,0

Для проверки корректности расчетов вязкости шлака выполнено сопоставление расчетных значений вязкости шлака с использованием программного обеспечения, представленного в работах [3-5], с экспериментальными данными. В качестве экспериментальных данных взяты шлаковые диаграммы, отражающие состав доменных шлаков ПАО «ММК». При этом использованы результаты исследований вязкости реальных доменных шлаков, выполненные ведущими отечественными и зарубежными исследователями [7-10].

В таблице 2 представлены сравнительные данные вязкости шлака по результатам экспериментальных исследований и расчетные значения при различных температурах [10].

Таблица 2 – Сравнительные данные вязкости шлака по результатам экспериментальных исследований и расчетные значения

Состав шлака, %				Основность шлака (CaO/SiO ₂), ед.	Температура, °С	Вязкость шлака, пуаз		Разность, пуаз/%
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO			Экспер.	Расчет	
40	40	10	10	1,0	1500	2,5	2,6	0,1/4,0
40	40	10	10	1,0	1450	4,2	4,0	0,2/4,8
40	40	10	10	1,0	1400	7,2	7,5	0,3/4,2
37,5	37,5	15	10	1,0	1500	4,0	4,2	0,2/5,0
37,5	37,5	15	10	1,0	1450	5,6	5,9	0,3/5,4

Выводы:

1. В разработанной модели учитывается комплексное влияние составляющих шлака на его свойства методом расчета политерм вязкости в области имеющихся температур в доменной печи.

2. Модель адекватна и применима для шлаков с допустимыми изменениями состава.

ва по содержанию в них: Al_2O_3 от 3 до 17 %; MgO от 5 до 20 %; SiO_2 в шлаках 35 % и более; CaO в шлаках 35% и более при основности шлака CaO/SiO_2 от 0,8 до 1,20.

3. Коэффициент парной корреляции фактического и расчетного (по химическому составу загружаемых шихтовых материалов) содержания отдельных компонентов в конечном шлаке составляет от 0,81 до 0,97.

4. Сравнение вязкости шлаков различных составов и при различных температурах показало соответствие экспериментальных данных расчетным значениям при относительной погрешности от 4 до 5,4 %.

Библиографический список

1. Ефименко Г.Г. *Металлургия чугуна* / Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е. Левченко. – Киев: Вища школа, 1981. – 495 с

2. Бабарыкин Н.Н. *Теория и технология доменного процесса*. Магнитогорск: МГТУ, 2009. – 257 с.

3. *Компьютерные методы моделирования доменного процесса* / О.П. Онорин, Н.А. Спириин, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев, И.Е. Косаченко, В.В. Лавров, А.В. Терентьев; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.

4. *Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки: монография* / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, А.В. Краснобаев, О.П. Онорин, И.Е. Косаченко. Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.

5. *Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП* / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилева, А.В. Краснобаев, В.С. Швыдкий, О.П. Онорин, К.А. Щипанов, А.А. Бурькин; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.

6. Spirin N.A., Onorin O.P., Rybolovlev V.Y., Perminov A.I., Shchipanov K.A. Simulation of slag processes in blast-furnace smelting // *Steel in translation*, 2005, vol. 35(8), pp. 7-11.

7. Вегман Е.Ф. *Доменное производство: Справочное издание. Т.1 Подготовка руд и доменный процесс* / Под ред. Е.Ф. Вегмана. – М.: Metallurgia, 1989. – 496 с.

8. *Атлас шлаков. Перевод с немецкого Жмойдина Г.И.* / Под ред. Куликова И.С. – М.: Metallurgia, 1985. – 208 с.

9. Жило Н.Л. *Формирование и свойства доменных шлаков*. – М. Metallurgia, 1974. – 116 с.

10. Воскобойников В.Г. *Свойства жидких доменных шлаков* / В.Г. Воскобойников, Н.Е. Дунаев, А.Г. Михалевич. – М.: Metallurgia, 1975. – 182 с.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНЕЧНОГО ШЛАКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Спириин Н.А., Гуриин И.А., Лавров В.В., Щипанов К.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, n.a.spirin@urfu.ru

Аннотация. Представлено описание программного модуля для расчета переходных процессов состава и свойств конечного шлака доменной печи. В качестве входных воздействий используются расходы и химические составы железорудных материалов и флюсов, расход и технический состав кокса, состав золы кокса. В результате рассчитывается комплекс параметров, характеризующих состав и свойства конечного шлака: основности шлака, содержание основных компонентов шлаке, вязкость шлака при различных температурах.

Ключевые слова: доменная печь, переходный процесс, конечный шлак, состав, моделирование, программное обеспечение.

Abstract. The description of the software module for calculating the transient processes of the composition and properties of the final slag in blast furnace is presented. As input influences, the consumption and chemical compositions of iron ore materials and fluxes, the consumption and technical composition of coke, and the composition of coke ash are used. As a result, a set of parameters is calculated that characterize the composition and properties of the final slag: the basicity, the content of the main components, the viscosity at different temperatures.

Keywords: blast furnace, transition process, slag, composition, modeling, software.

Исследование переходных процессов доменной плавки осуществлялось с использованием аналитических и теоретических моделей, описывающих закономерности тепло- и массообмена с учетом кинетики протекающих в объеме печи химических реакций; методами пассивного и активного экспериментов, по данным нормальной эксплуатации печи с применением статистических методов, а также на основе результатов специально поставленных экспериментов или путём отбора характерных периодов нормальной работы печи, содержащих входные сигналы желаемого типа. Каждое из этих направлений имеет очевидные преимущества и недостатки, хорошо освещенные в научной литературе [1-4].

Аналитические модели, построенные на основе физики процесса, позволяют теоретически оценивать характер динамических характеристик процессов в любых условиях доменной плавки при отсутствии помех [2, 3]. Однако ввиду сложности протекающих в доменной печи процессов, проблематичности их полного описания, сложности математического решения системы дифференциальных уравнений, такие динамические модели не учитывают в полной мере все особенности протекания процессов, а информация по реально используемым в промышленности динамическим моделям этого класса за последние десятилетия практически отсутствует.

Перспективным для исследования переходных процессов в доменной печи является натурно-математический подход, разработанный в Сибирском государственном индустриальном университете [5]. На его основе разработана динамическая модель доменного процесса УрФУ, исследованы переходные процессы изменения содержания кремния в чугуне при изменении рудной нагрузки, расхода природного газа, температуры и влажности дутья, содержания кислорода в дутье, разработаны алгоритмическое и программное обеспечение прогнозирования содержания кремния в чугуне в режиме реального времени [6-8]. Её основой являются фундаментальные знания по теории и практике современного доменного процесса, закономерности процессов тепло- и массообмена, газодинамики, процессов шлакообразования. При этом широко используется математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, разработанные ранее в УрФУ для управления доменной плавкой [9, 10].

При расчете переходных процессов состава и свойств конечного шлака доменной печи по различным каналам воздействий предусматривается использование аналитической (полученной на основании фундаментальных знаний), но линеаризованной динамической модели доменного процесса, принципа малых отклонений и опорно-возмущенного движения. Моделирование осуществляется в следующей последовательности:

1. По усредненным данным работы печи в базовом периоде рассчитывается комплекс параметров, характеризующих состав и свойства конечного шлака [9]:

- основность шихты (CaO/SiO_2), ед.;
- основность шихты $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$, ед.;
- основность шихты $(\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$, ед.;
- содержание CaO в шлаке, %;
- содержание SiO_2 в шлаке, %;
- содержание Al_2O_3 в шлаке, %;
- содержание MgO в шлаке, %;
- вязкость шлака при температурах 1400, 1450, 1500 °С, пуаз;
- градиент вязкости шлака в диапазоне 1400–1500 °С, пуаз/°С;
- градиент вязкости шлака в диапазоне 7–25 пуаз, пуаз/°С.

Для расчёта используется вся доступная информация о работе печи: конструктивные размеры печи, удельные расходы и свойства отдельных компонентов шихты, их химического состава, характеристики комбинированного дутья, состав жидких продуктов плавки, состав колошникового газа и др.

2. По информации базового периода рассчитываются коэффициенты передачи (состав и свойства конечного шлака) по алгоритмам, представленных в работах [9], по следующим каналам воздействий (при постоянном составе чугуна):

- расход (доля) и химический состав (%) агломерата различных видов;
- расход (доля) и химический состав (%) окатышей различных видов;
- расход (кг/т чугуна) и свойства кокса, химический состав (%) золы кокса;
- расход (кг/т чугуна) и химический состав (%) каждого из видов флюсующих добавок (известняк, кварцит, конвертерный шлак, доломит и т.п.).

3. Выполняется расчет времени от начала загрузки до момента прихода шихты к фурмам (время одного оборота шихты) по алгоритмам, представленным в работах [7, 8].

4. Рассчитываются переходные процессы по указанным каналам воздействий. Время запаздывания при изменении свойств и расходов шихтовых материалов было принято равным времени одного оборота шихты. Остальные параметры переходного процесса рассчитываются аналогично влиянию рудной нагрузки на содержание кремния в чугуне. Алгоритм расчета представлен в работах [6, 7].

Таким образом, общее число входных воздействий составляет более 100 параметров.

Программное обеспечение представляет собой веб-приложение, разработанное на языке программирования C# на базе фреймворка ASP.NET MVC с использованием программной платформы .NET 5. Окно ввода исходных данных характеристик кокса в базовом и проектном периодах представлены на рисунке 1. Окно ввода состава и свойств шихты для базового периода приведено на рисунке 2. Аналогичное окно ввода состава и свойств шихты предусмотрено и для базового периода.

Наименование показателя, ед. изм.	Величина в базовом периоде	Величина в проектном периоде
Характеристики кокса		
Удельный расход кокса, кг/т	<input type="text" value="420"/>	<input type="text" value="420"/>
Содержание золы в коксе, %	<input type="text" value="11.9"/>	<input type="text" value="11.9"/>
Содержание серы в коксе, %	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>
Содержание Fe в золе кокса, %	<input type="text" value="8.8"/>	<input type="text" value="8.8"/>
Содержание CaO в золе кокса, %	<input type="text" value="5.3"/>	<input type="text" value="5.3"/>
Содержание SiO2 в золе кокса, %	<input type="text" value="50.9"/>	<input type="text" value="50.9"/>
Содержание Al2O3 в золе кокса, %	<input type="text" value="22.5"/>	<input type="text" value="22.5"/>
Содержание MgO в золе кокса, %	<input type="text" value="2.4"/>	<input type="text" value="2.4"/>

Рисунок 1 – Окно ввода характеристик кокса в базовом и проектном периодах в модуле расчета динамических характеристик состава и свойств конечного шлака

Наименование компонента шихты	Тип	Расход, кг/т чугуна	Состав шихты в базовом периоде							
			Fe, %	SiO ₂ , %	CaO, %	MgO, %	Al ₂ O ₃ , %	MnO, %	S, %	TiO ₂ , %
Агл фаб 2	Агломерат	20	54.88	7.07	11.27	1.95	2	0.3	0.074	0.25
Агл фаб 5	Агломерат	835	55.64	6.87	12.02	1.9	1.52	0.171	0.055	0.193
Агл яма	Агломерат	228	64.57	7.065	11.25	1.95	2	0.3	0.069	0.25
Окатыши Михайловск	Окатыши	200	63.34	8.73	0.51	0.28	0.16	0.021	0.006	0.01
Окатыши Сколовские	Окатыши	310	63.77	4.88	1.14	1	1.59	0.21	0.01	0.25
Королек	Металлодобавки	56.9	67.15	6.35	10.4	4.27	1.61	1.24	0.051	0.28
Руда Марг Низгуловс	Металлодобавки	14.3	14.3	41.4	3.73	0.67	5.64	0	0.057	0
Кварцит	Флюсы	2.5	0	98.4	0	0	0.44	0	0	0
Итого		1667								

Рисунок 2 – Окно ввода состава и свойств шихты для базового периода в модуле расчета динамических характеристик состава и свойств конечного шлака

В результате работы модуля выполняется расчет состава и свойств шлака в базовом и проектном периодах. В таблице 1 представлен фрагмент результатов расчета при увеличении расхода кварцита на 10 кг/т чугуна.

Таблица 1 – Результаты расчета состава и свойств шлака в базовом и проектном периодах при увеличении расхода кварцита на 10 кг/т чугуна

Наименование показателя, ед. изм.	Базовый период	Проектный период
Основность железорудной части шихты (CaO/SiO ₂), ед.	0,97	0,91
Основность железорудной части шихты (CaO+MgO)/SiO ₂ , ед.	1,16	1,09
Основность железорудной части шихты (CaO+MgO)/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃), ед.	0,93	0,88
Содержание CaO в шлаке, %	38,03	36,9
Содержание SiO ₂ в шлаке, %	39,01	40,7
Содержание Al ₂ O ₃ в шлаке, %	10,68	10,4
Содержание MgO в шлаке, %	8,34	8,12
Основность шлака (CaO/SiO ₂), ед.	0,97	0,91
Основность шлака (CaO+MgO)/SiO ₂ , ед.	1,19	1,11
Основность шлака (CaO+MgO)/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃), ед.	0,93	0,88
Вязкость шлака при температуре 1450 °С, пуаз	5,11	5,74
Градиент вязкости шлака в диапазоне 1400-1500 °С, пуаз/°С	0,047	0,057
Градиент вязкости шлака в диапазоне 7-25 пуаз, пуаз/°С	0,18	0,18

Результаты расчетов переходных процессов представляются в численном и графическом виде. Фрагменты окон с результатами работы модуля при увеличении расхода кварцита на 10 кг/т чугуна представлены на рисунках 3–6.

Изменение состава и свойств конечного шлака (время запаздывания) начинается через время, длительность которого составляет один оборот шихты в печи, а общая продолжительность переходного процесса до установления нового состава шлака составляет 2,5–3,2 оборота шихты, а длительность переходных процессов составляет 12-14 часов.

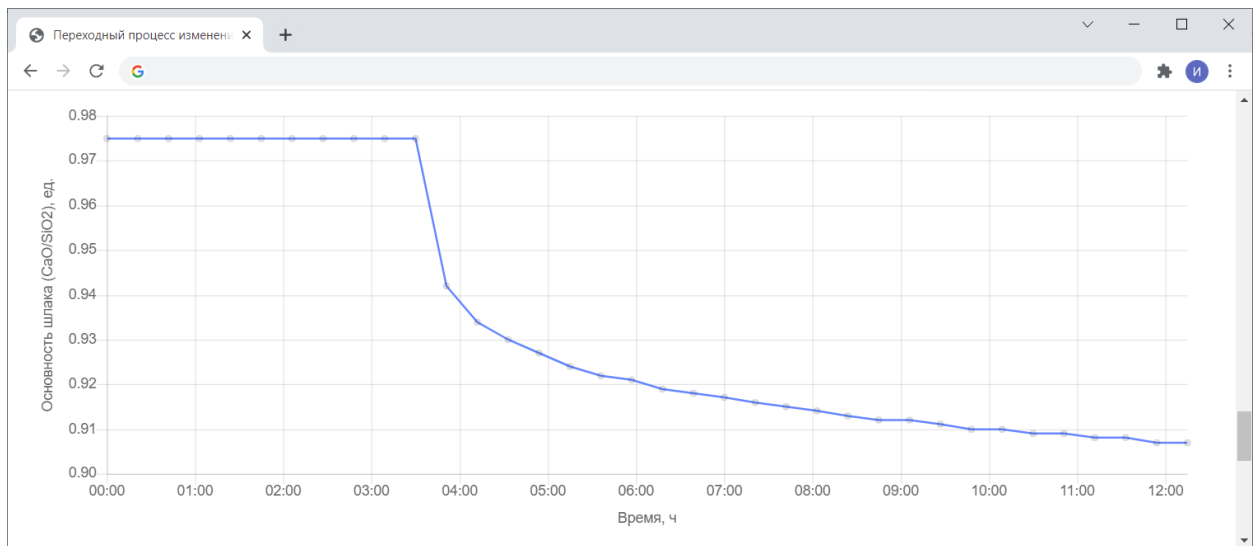


Рисунок 3 – График переходного процесса по основности шлака (CaO/SiO₂)

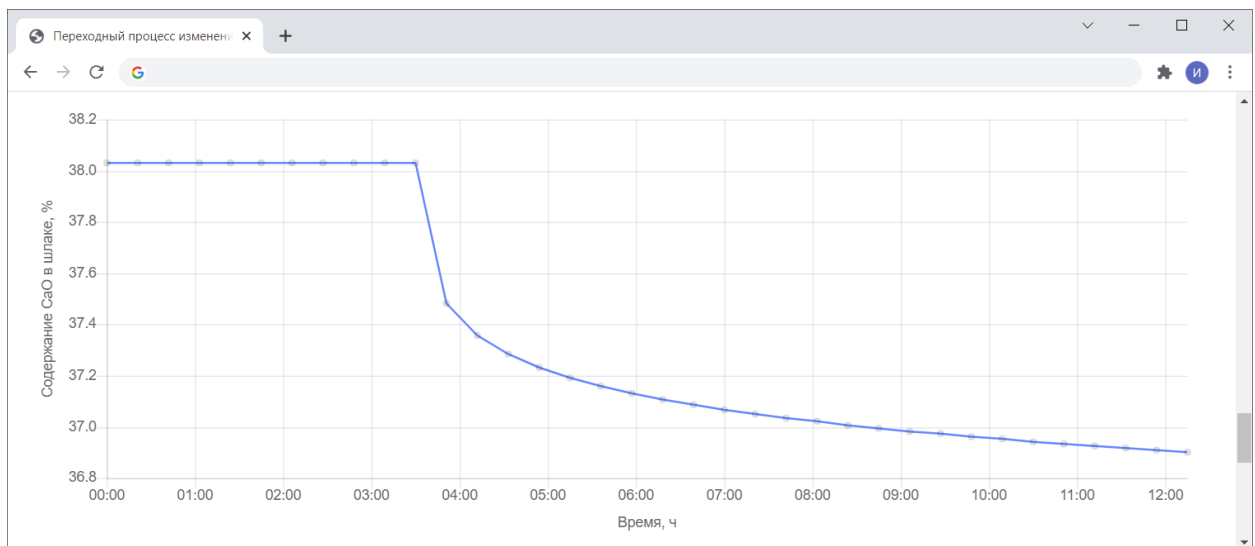


Рисунок 4 – График переходного процесса содержания CaO в шлаке

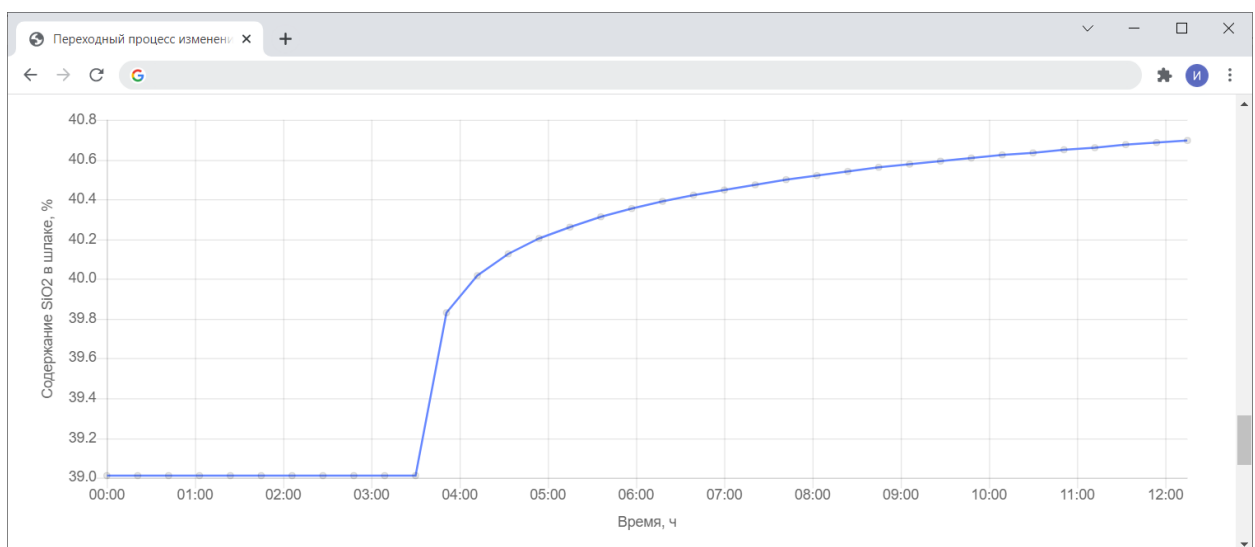


Рисунок 5 – График переходного процесса по содержания SiO₂ в шлаке

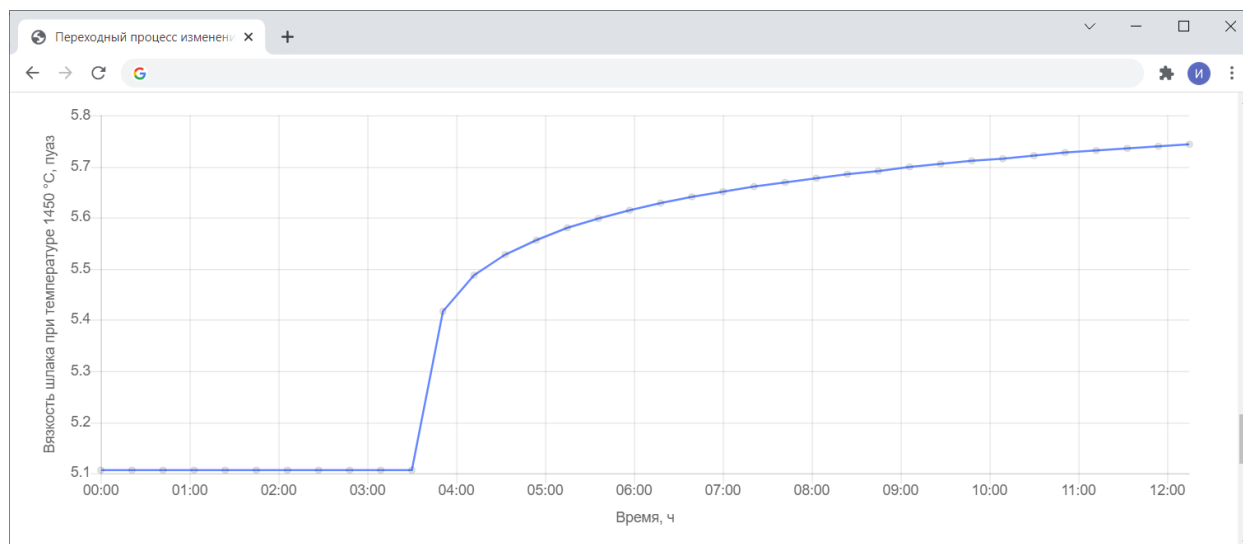


Рисунок 6 – График переходного процесса вязкости шлака при температуре 1450 °С

Выводы:

1. Разработан программный модуль расчета переходных процессов состава и свойств конечного шлака доменной печи при изменении расходов и химического состава агломерата, окатышей и др. железорудных материалов; флюсов различных видов; расхода, технического состава кокса и состава золы кокса. Общее число входных воздействий составляет более 100 параметров и зависит от конкретных условий функционирования объекта.

2. Переходные процессы по различным каналам воздействий носят монотонный характер, время запаздывания составляет 2,5–3,2 оборота шихты, а общая длительность переходных процессов 12–14 часов.

3. В дальнейшем планируется его интеграция с модулем прогнозирования содержания кремния в чугуне и разработка системы прогнозирования состава и свойств конечного шлака в режиме реального времени.

Библиографический список

1. Товаровский И.Г. Доменная плавка. Монография – Днепропетровск, Пороги, 2009. – 768 с.
2. Нестационарные процессы и повышение эффективности доменной плавки / Ю.Н. Овчинников, В.И. Мойкин, Н.А. Спирин, Б.А. Боковиков // Челябинск: Metallurgia, 1989. – 120 с.
3. Динамические характеристики доменной печи по результатам математического моделирования / В.И. Мойкин, Н.М. Бабушкин, Б.А. Боковиков// Вопросы производства чугуна в доменных печах: Темат. сб.научн.тр./МЧМ СССР (ИЧМ.– М.: Metallurgia, 1984. С. 46–52.
4. Экспериментальное определение динамических характеристик доменной печи / А.Н. Похвиснев, И.Ф. Курунов, В.А. Завидонский [и др.] // Подготовка доменного сырья к плавке: Сб. трудов МИСиС. – М., 1971. №69. – С. 118-121.
5. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев, А.С. Рыков, В.Ф. Евтушенко, С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь – Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. 487 с.
6. Onorin O.P., Spirin N.A., Istomin A.S., Lavrov V.V., Pavlov A.V. Features of blast furnace transient processes // Metallurgist. 2017. Vol. 61. Is. 1-2. Pp. 121-126. DOI: 10.1007/s11015-017-0464-2.
7. Исследование переходных процессов в доменной печи на основе анализа схемы теплообмена / Н.А. Спирин, О.П. Онорин, А.С. Истомин, И.А. Гурин // Черная металлур-

гия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76. – № 2. – С. 132-139.

8. Spirin, N.A., Polinov, A.A., Gurin, I.A., Beginyuk, V.A., Pishnograev, S.N., Istomin, A.S. Information System for Real-Time Prediction of the Silicon Content of Iron in a Blast Furnace // Metallurgist Volume 63, Issue 9-10, 1 January 2020, Pages 898-905. DOI: 10.1007/s11015-020-00907-y

9. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП / Н.А. Спири́н, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилева, А.В. Краснобаев, В.С. Швыдкий, О.П. Онорин, К.А. Щипанов, А.А. Бурькин; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.

10. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спири́н, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, А.В. Краснобаев, О.П. Онорин, И.Е. Косаченко. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 462 с.

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ СОСТАВА И ОБЪЕМА ГОРНОЙ МАССЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫПУСКА ИЗ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ

Кизилов С.А., Никитенко М.С., Никитенко С.М.

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук
Кемерово, Россия, sergkizilov@gmail.com*

Аннотация. Приведен анализ технико-технологических ограничений создания системы управления лавным комплексом при отработке с выпуском на забойный конвейер, работающей в автономном режиме. Обоснована актуальность задач оценки объема и состава горной массы. Описаны методы оценки состава горных пород, рассмотрены их преимущества и недостатки с позиции применения для оперативной оценки границы уголь-порода в процессе выпуска горной массы при отработке с выпуском. Показана перспективность методов технологии компьютерного зрения для оперативной оценки объема выпуска.

Ключевые слова: выпуск угля подкровельной толщи, выпуск на забойный конвейер, автоматизированная система управления, гамма-метод, компьютерное зрение, граница уголь-порода

Abstract. The analysis of technical and technological limitations of creating a LTCC complex control system, operating in an autonomous mode is presented. The urgency of the tasks of assessing the volume and composition of the rock mass has been substantiated for control system operating. Methods for assessing the composition of rock mass are described, advantages and disadvantages of their use are considered. The prospects of computer vision technology methods are shown for a quick withdrawn rock mass volume assessment.

Keywords: longwall top coal caving, face conveyor discharge, automated control system, gamma method, computer vision, coal-rock interface

Добыча угля всегда являлась опасной работой, по данной причине, со временем, на смену ручному труду стали приходиться высокоавтоматизированные очистные комплексы. На сегодняшний день для лавных очистных комплексов уровень автоматизации достиг практического максимума. Современное оборудование, работающее в опасных зонах, является дистанционно управляемым. Следующим этапом остается только обеспечение полностью автономного продвижения комплекса. Однако комплексы, применяемые при технологии отработки с выпуском угля из подкровельной пачки, не являются столь массово распространенными ввиду сложности горно-геологических условий, сложности реализации систем автоматизированного управления при необходимости обеспечения автономности работы и определенно имеют потенциал по разработке технического оснащения, повышающего его эффективность и снижающего потери. Для корректного описания задач автоматизации следует выделить два основных типа комплексов с выпуском по расположению конвейера, на который производится выпуск.

Первый – это комплексы с выпуском угля на дополнительный конвейер, устанавливаемый в незакрепленном пространстве (далее по тексту – с выпуском на завальный конвейер). Второй – перспективный тип комплексов с выпуском на основной конвейер очистного комплекса (далее по тексту – с выпуском на забойный конвейер). К достоинствам первого типа следует отнести низкую запыленность рабочего пространства, простоту конструкции ограждающе-поддерживающей секции, а также большую изученность технологического процесса. При этом данный тип комплексов имеет следующие недостатки: необходимость внедрения в конструкцию очистного комплекса дополнительного конвейера с перегружателем, увеличение габаритных размеров секции крепи, что отрицательно сказывается на трудоемкости подготовительных работ и общей стоимости всего комплекса [1].

Второй тип комплексов – с выпуском на забойный конвейер напротив имеет более сложную конструкцию секции крепи, при этом не требует наличия дополнительного конвейера, перегружателя, а габаритные размеры остаются в пределах размеров стандартных секций крепи, применяемых на очистных комплексах. Важно отметить, что комплексы с выпуском на завальный конвейер могут работать и производить выпуск угля при низком уровне автоматизации. Но для обеспечения корректной и эффективной работы комплекса с выпуском на забойный конвейер требуется внедрение высокоавтоматизированных средств управления и контроля за процессом выпуска с их интеграцией в систему управления электрогидравликой крепи [2].

На сегодняшний день для комплексов с выпуском на забойный конвейер слабо автоматизированы две технологические задачи. Первая – определение границы уголь-порода при выпуске. Вторая – оперативная оценка объема горной массы в процессе выпуска из каждой секции.

Определения границы уголь-порода

Для определения границы уголь-порода в современных комплексах с выпуском на завальный конвейер используется несколько способов.

Первый способ – полностью ручное управление. Фаза выпуска инициируется автоматикой очистного комплекса, далее работник обслуживающий комплекс занимает заданную позицию и слушает шум, производимый выпускаемой горной массой при соприкосновении с конструкцией секции (верхняя плоскость ограждения) крепи. Шум, производимый при соприкосновении угля и пустой породы в составе горной массы значительно отличается. Ориентируясь на слух и опыт работник прекращает фазу выпуска, когда, по его мнению, начинает появляться шум от соприкосновения породы с металлом. Описание данного способа в научных, технических или нормативных источниках не представлено. Данные о нем получены авторам в рамках соглашений о сотрудничестве и обмене информацией ФИЦ УУХ СО РАН с отечественными и иностранными производственными и эксплуатирующими компаниями.

Второй способ позволяет очистному комплексу работать в полностью автоматическом режиме. Описан в книге «Longwall Mining. 3rd edition» американским ученым Syd S. Peng [3]. Суть способа заключается в лимитировании времени выпуска. Технологи ориентируются на мощность подкровельной пачки, ожидаемый объем выпуска и данные, полученные при пуско-наладочных работах: определяется время, за которое гарантированно будет выпускаться уголь до начала появления породы. Таким образом в заданный момент автоматика очистного комплекса открывает створку выпускного окна требуемых секций, выдерживает заложенную в программу паузу и закрывает створку, завершая фазу выпуска. Никакого объективного контроля полноты выпуска, наличия или отсутствия факта выпуска в этот момент не ведется. Очевидно, что несмотря на простоту реализации данный способ не может обеспечить полноту выпуска и соблюдения соответствия выпускаемой горной массы углю.

Еще один перспективный способ оценки границы уголь-порода для комплексов с выпуском угля был предложен немецкой компанией marco System Analysis and

Development GmbH. Он аналогичен первому, за исключением того, что вместо рабочей информации о шумах, производимых горной массой при соприкосновении с металлоконструкциями крепи регистрирует и собирает высокочувствительный датчик корпусного шума ps/ks/b. Датчик напрямую подключается к пульта управления pm32/sg/age, на котором производится обработка сигнала [4]. К сожалению, работы по данному способу остаются экспериментальными и широкого распространения не имеют.

Если оценивать пригодность описанных способов для комплексов с выпуском на забойный конвейер, применение первого не представляется возможным из-за реализации самой технологии, поскольку требует привлечения персонала, присутствие которого в рабочей зоне выпуска следует исключать. Временная отсечка может использоваться, но такой подход значительно снижает эффективность работы очистного комплекса, поскольку во время фазы выпуска комбайн простаивает. Также способ не позволяет обеспечить полноту выпуска, что снижает эффективность работы всего очистного комплекса и дополнительно может приводить к эндогенным пожарам. Способ, предложенный компанией magco GmbH, во-первых, всё ещё находится на этапе опытного внедрения, во-вторых, мало пригоден для комплексов с выпуском на забойный конвейер по причине сравнительного небольшой длины (400-800 мм) участка металлоконструкции, где горная масса может контактировать с выпускным окном секции без взаимодействия с питателем, что снижает вероятность корректного анализа состава.

Исходя из вышеописанного, для выделения границы уголь-порода необходимо определить физические величины, характеризующие состав вещества, которые можно измерить либо, не имея прямого контакта с веществом, либо имея только краткосрочный контакт с частью анализируемой горной массы. Наиболее богатый опыт исследования состава пород бесконтактными методами накопили геофизики, исследующие состав массива при каротаже скважин [5]. Неразрушающие методы анализа состава породы можно условно разделить по виду излучаемых исследуемым веществом физических полей, пригодных для измерения современным оборудованием [6]. На основе такой классификации можно выделить шесть основных больших групп методов: электрические; сейсмоакустические и акустические; термические; основанные на изучении изменений в магнитных полях; рентгенофлуоресцентный анализ; ядерно-геофизические. Рассмотрим кратко каждую группу методов и определим степень пригодности измеряемых в ней способов измерений физических величин для определения границы уголь-порода при работе в лавных очистных комплексах с выпуском на забойный конвейер.

Группа методов, измеряющая изменения электрических полей при взаимодействии с исследуемыми породами [7]. Из [8] следует, что выявить присутствие угля во вмещающих породах можно, исследуя изменение удельного электрического сопротивления. Наиболее подходящим для этого является метод кажущихся удельных сопротивлений, но он требует дополнительной подачи электрического тока в массив недалеко от места измерения [8]. Все методы оценивающие изменение электрических полей, пригодные для распознавания угля на фоне вмещающей породы описанные в [6, 7, 9], требуют непосредственного контакта датчиков зонда с изучаемой породой, при этом актуальные данные будут только о породе в месте контакта [7, 9]. С применением данной группы методов в комплексах с выпуском невозможно создать постоянный контакт с множеством частей дезинтегрированной горной массы, проанализировать можно будет только тот объем вещества, который непосредственно коснется чувствительного элемента, то, что окажется вне зоны контакта проанализировано не будет.

Сейсмоакустические и акустические методы предназначены для изучения закономерностей распространения полей упругих волн в горных массивах, жидкостях, газах и окружающем незаполненном пространстве [10]. Методы изучают время прохождения упругих волн по породам, от устройства возбуждения до приемников [11]. Сейсмоакустические методы геофизических исследований разделяются на две группы по способу возбуждения упругих колебаний в породах – сейсмический и акустический. Оба требуют

дополнительный источник, создающий либо сейсмические, либо акустические колебания в исследуемом массиве и не способны на данный момент времени оценивать состав дезинтегрированной горной массы, что делает их непригодными для решения поставленной задачи. Несмотря на это, при определенных условиях они позволяют определить: прочность угольных пластов, и выделять уголь из других пород, что было проверено измерениями, проводившимися на территории Кузбасса [12].

Термические методы анализа состава пород можно разделить на две группы: использующие для исследований аномалии, образуемые в естественном тепловом поле Земли и искусственные тепловые поля [13]. Физической основой термических методов является различие в тепловых свойствах отличающихся по литографии пород [14]. Основными изучаемыми свойствами пород являются удельная теплоемкость, удельное тепловое сопротивление породы, удельная теплопроводность и коэффициент удельной теплопроводности [14]. Термические методы позволяют при каротаже бесконтактно определять границы пластов разных пород [15]. Данная группа методов позволяет отличать угли от других пород по результатам измерения удельные теплопроводности и теплоемкости, но создание тепловой карты требует соблюдения множества условий, и изоляции факторов, влияющих на результаты измерений (ветер или воздушные потоки, влажность, запыленность и прочее), так же следует учитывать достаточно большое время экспозиции для получения результата замера. Все это делает данную группу методов не пригодной для использования в автоматике очистных комплексов с выпуском.

Для анализа состава и характеристик пород на основе изучения изменений в магнитных полях используется несколько физических величин, относящихся к магнитным параметрам: намагниченность, магнитная восприимчивость, магнитная проницаемость [5]. В целом использование магнитных методов исследования пород применяется в основном для поиска рудных отложений с выраженными магнитными характеристиками [5, 16]. При этом они позволяют выделять песчаники и другие осадочные породы [16]. Существует теоретическая возможность использования магнитных методов для фиксации изменения состава горной массы, так как опускаемый на каротажном кабеле зонд в реальном времени отображает изменение магнитных параметров, проходя возле разных пород [14]. Возможности данной группы методов слабо описаны для применения к подвижной дезинтегрированной горной массе и требуют дополнительного изучения. Существует высокая вероятность того, что металлоконструкции секций будут вносить серьезные искажения в результаты измерений.

Рентгенофлуоресцентный анализ (далее по тексту – РФЛА) относится к группе рентгеноспектрального анализа. В основу метода положен эффект изменения рентгеновской флуоресценции в зависимости от концентрации вещества в исследуемом образце [17]. Благодаря этому эффекту РФЛА позволяет анализировать вещество практически в любом агрегатном состоянии без потери точности анализа. Анализируемые образцы могут быть любой формы и размера, метод позволяет работать с несколькими единицами образцов в одно и то же время [17]. По характеристикам метод РФЛА подходит для распознавания границы уголь-порода в автоматизированном режиме. При проведении анализа применяется рентгено-флуоресцентные спектрометры, существуют, как лабораторные приборы, предназначенные для анализа малых количеств веществ, так и промышленные сканеры, производящие анализ больших масс веществ, перемещаемых поточно на конвейерной ленте. Основными проблемами метода для работы в условиях очистного комплекса с выпуском являются: стоимость каждого сканера в случае необходимости монтажа на каждой секции; длительное время экспозиции для анализа (около 10 секунд), монтаж возможен только в закрепленном пространстве.

Ядерно-геофизические методы анализа состава пород используют их естественную, либо вызванную радиоактивность [13, 18]. Точная идентификация изотопов, возможна только по их гамма-излучению [19], так как альфа и бета излучение будут полностью поглощены корпусом измерительной аппаратуры и защитным кожухом [8], это даёт

основание полагать, что именно методы связанные с изучением излучения гамма частиц могут быть использованы для определения границы уголь-порода. Рассмотрим метод ядерно-геофизических исследований, основанный на изучении естественной радиоактивности угля и вмещающих пород. По количеству излучаемых гамма-квантов за единицу времени можно судить о химическом составе изучаемого образца породы. Точность и избирательность гамма методов, гораздо ниже, чем гамма-гамма с искусственным облучением исследуемого образца. При этом, в определенных условиях гамма-методы позволяют с высокой точностью оценивать зольность угля как в полевых условиях на складах, так и в потоке угля на конвейерах углеобогатительных фабрик. Можно предложить использование метода фиксирования естественной радиоактивности с помощью золотера/радиометра для решения задачи определения границы уголь-порода при выпуске угля из подкровельной толщи на забойный конвейер. Плюсы данного метода: не требует отдельных источников ионизирующего излучения, возможен монтаж чувствительных элементов внутри силовой конструкции секции механизированной крепи в районе выпускного окна, что снимает вопросы по защите от внешнего воздействия. Монтаж чувствительного элемента в верхней части выпускного окна дает возможность контролировать подход породы еще до попадания её на питатель. Данное решение имеет и свои минусы: малая глубина анализа, что возможно потребует установки второго чувствительного элемента с противоположной стороны выпускного окна, невысокая чувствительность метода. При проведении дополнительных исследований, правильном подборе аппаратной части на основе существующих решений, и выбора подходящего алгоритма поведения автоматики на основе получаемых данных гамма-метод может стать более простой и доступной альтернативой устройствам на базе метода РФЛА.

Оценка объема выпуска угля из выпускного окна секции на конвейер

Поддерживать равномерный поток горной массы через все активированные выпускные окна важно для эффективной работы технологии с выпуском на забойный конвейер [1]. Таким образом, требуется сенсорика, способная контролировать наличие выпуска из активированной секции крепи и учёт объема выпускаемой угольной массы. Условия, в которых работает пластинчатый питатель крепи с выпуском на забойный конвейер (возвратно-поступательные движения привода питателя, давление горной массы, скопившейся в выпускном окне, ограничения по размерам, энергопотреблению и по пропускной способности подземной компьютерной сети, плохая видимость) не позволяют применить привычные технологий измерения объем поступающей горной массы на конвейер. Следовательно, нельзя ни взвесить, ни замерить объём привычными способами. Наиболее логичным в такой ситуации является использование для решения данной задачи методов технологии компьютерного зрения, но на данном этапе развития техники нет возможности обеспечить одновременную трансляцию с достаточного количества камер видеонаблюдения для захвата всей полосы выпуска на обработку к центральному серверу, используя существующее оборудование для работы на подземных угольных предприятиях. Важно отметить, что замыкание работы всей системы выпуска на одном сервере или небольшой группе мощных подземных компьютеров, создает условие для остановки работы всего очистного комплекса в случае сбоя на таком устройстве и неприемлемо по условиям безопасности. Рассматривая изложенные ранее условия, авторы сформировали следующий перечень требований для успешной реализации устройства оценки объема угля, построенного на базе технологии компьютерного зрения:

1. Сцена в видеоизображении с камеры должна представлять собой контрастную детерминированную среду, требующую минимальной компьютерной мощности на обработку, используя уже имеющиеся алгоритмы.
2. Использование видеокамер, сертифицированных для применения в угольных шахтах.
3. Информация от системы компьютерного зрения должна обрабатываться «на месте», с использованием мини-компьютера, встроенного в корпус видеокамеры или распо-

лагающегося рядом в собственном взрывозащищенном корпусе.

4. Система компьютерного зрения должна быть интегрируема в систему управления секцией крепи, а через неё в систему управления лавным комплексом в целом.

5. Каждый единичный комплект для оборудования одной секции механизированной крепи системой компьютерного зрения для оценки объёма выпуска должен иметь приемлемые стоимостные показатели, не превышающие стоимость одного комплекта для управления электрогидравликой секции крепи.

Выполнение предложенных требований при разработке устройств оценки объёма выпуска угля с устройством определения границы уголь-порода, построенного на базе одного из предложенных выше методов, позволит решить вопрос автоматизации очистных комплексов с выпуском на забойный конвейер.

Библиографический список

1. Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Направления совершенствования разработки мощных пластов с выпуском угля подкровельной толщи // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2017. С. 57-63.

2. Клишин В.И., Ройтер М., Кисслинг У., Вессель А. О. Система автоматического управления крепью (САУК) как средство адаптации крепи к различным горно-геологическим условиям шахт Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2014. №1 (101). С. 34-40.

3. Syd S. Peng Longwall Mining. 3rd edition изд. Leiden: CRC Press/Balkema, 2020.

4. М. Ройтер, М. Крах, У. Кисслинг, Ю. Векслер. Роботизация очистного забоя – полностью автоматизированная высокопроизводительная лава с системой управления «MARCO» «ROBOTIC MINING» (Шахта «Полысаевская»). Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Том 4, № 2, 2017.

5. Косков В. Н., Косков Б. В. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. универ-та, 2007. 317 с.

6. Геофизические методы исследования скважин // GEODATA инженерные изыскания

7. Дахнов В.Н. Промысловая геофизика. методы промышленной геофизики, аппаратура и оборудование, электрические методы исследования скважин. М.: Гостоптехиздат, 1959. 697 с.

8. Гречухин В.В. Геофизические методы исследования угольных скважин. М.: Недра, 1965. 469 с.

9. Шаймарданова Р.Р. Электрические методы исследования скважин // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. №12. С. 59-60.

10. Золоева М.Г. Акустические методы исследования скважин. учебное пособие. М.: РГУ НГ им. акад. И. М. Губкина, 2004. 85 с.

11. Марфин Е.А. Скважинка шумометрия и виброакустическое воздействие на флюидонасыщенные пласты: Учебно-методическое пособие. Казань: Казанский университет, 2012. 44 с.

12. Косолапов А. Ф. Оценка прочностных характеристик пород и углей по данным акустического каротажа и наклонометрии пластов // Каротажник. 2014. №11. С. 56-61.

13. Геофизика: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения / Богословский В. А., Горбачев Ю. И., Жигалин А. Д., Калинин А. В., Попов М. Г., Пушкарев П. Ю., Модин И. Н., Никитин А. А., Никитин Ан. А., Степанов П. Ю., Хмелевский В. К., Под ред. Хмелевского В. К. М.: «КДУ», «Добросвет», 2018.

14. Итенберг С.С. Промысловая геофизика. М.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1961. 390 с.

15. Плакс Д.П., Бабец М. А. Промысловая геофизика. Учебно-методическое пособие. Минск: БНТУ, 2016. 142 с.

16. Махнаева А.О., Вдовин А. К. Магнитные методы исследования скважин // Научные исследования. 2017. №№2 (13).

17. Соболев В.И. Рентгенофлуоресцентный анализ. методические указания к выполнению лабораторных работ. Томск: ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014. 18 с.

18. Климов В.В., Шостак А. В. Геофизические исследования скважин: учебное пособие. Краснодар: ООО «Издательский дом ЮГ», 2014. 220 с.

19. Пак Д. Ю., Пак Ю. Н., Есендосова А. Н., Смагулова А. Б. О возможности спектрометрического гамма-каротажа при решении задач нефтегазопромысловый геофизики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №№% (часть 6). С. 1069-1072.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИЕЙ СТАЛЬНЫХ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПО КРИТЕРИЮ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ

Веревкин В.И., Веревкин С.В.

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия*

Аннотация. Подавление склонности к электрохимической коррозии стальной сварной металлоконструкции достигается на этапе её сборки за счет рационального подбора взаимозаменяемых заготовок с близкими толщинами и физико-химическими свойствами. Склонность к электрохимической коррозии стальной сварной металлоконструкции оценивается по показателю физико-химической совместимости элементов её сварных узлов.

Ключевые слова: электрохимическая коррозия; способ подавления; собственный потенциал заготовки; критерий физико-химической совместимости.

Abstract. Suppression of the tendency to electrochemical corrosion of welded steel structures. Suppression of electrochemical corrosion is achieved at the stage of its assembly due to the rational selection of interchangeable workpieces with similar thicknesses and physicochemical properties. The tendency to electrochemical corrosion of a welded steel structure is estimated by the indicator of the physico-chemical compatibility of the elements of its welded assemblies.

Keywords: elektrokhimicheskaya korroziya; sposob podavleniya; sobstvennyy potentsial zagotovki; kriteriy fiziko-khimicheskoy sovместimosti.

Наиболее разрушительной формой коррозии металлоконструкций является электрохимическая (ЭХК) [1]. Максимальное разрушение металлоконструкций в присутствии электропроводных жидких сред наблюдается в области сварных швов. Причем скорость ЭХК сварных швов в 5-15 раз выше общей ЭХК металлоконструкции в условиях морской среды.

Основной причиной чрезвычайно высокой скорости ЭХК сварных швов в условиях высокоэлектропроводных жидких сред является необычно высокий уровень электрических напряжений, возникающих по границе сварного шва с околошовной зоной. Главная причина этого явления состоит в том, что образуемые в металлоконструкции сварные швы соединяют металлы различных химических составов. Процесс коррозии многократно усиливается при погружении такого соединения в электропроводную среду, например, в морскую воду. Так в ходе эксплуатации обшивки стальных корпусов судов сварные соединения интенсивно разрушаются, особенно в условиях повышенной разности температур снаружи и внутри корпуса судна. Последнее связано с созданием в сварных соединениях термопар. Согласно эффекту Зеебека между сваренными заготовками возникают термоэлектродвижущие силы (ТЭДС). В результате скорость электрохимической коррозии сварных швов обшивок судов чрезвычайно высока – достигает 1,0-3,0 мм/год [1, с. 211], в то время как скорость коррозии самих заготовок наружной обшивки в подводной части корпуса судна много ниже, и не превышает 0,19

мм/год [1, табл. 13 на с. 211].

Главная трудность защиты сварных соединений от ЭХК состоит в бесполезности применения для этих целей традиционных общесберегающих мер торможения коррозии всей металлоконструкции. Катодная, протекторная защита, как инструменты снижения общего фона напряжения, не приемлемы из-за локальности причины ЭХК в сварном шве. Для снижения скорости ЭХК металлоконструкции нужно убрать, демпфировать определяющий эту скорость коррозии локальный перепад напряжения на границе шва. Тут нужны не общесберегающие меры торможения коррозии всей металлоконструкции, а предметно направленные избирательные дифференциальные средства воздействия на самые разрушающиеся узкие локальные зоны контакта сварного шва с околосшовной зоной.

Широко известен способ контроля режима работы систем протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов [2], включающий периодическое измерение потенциала корпуса защищаемого объекта в контрольных точках по длине корпуса с помощью переносного электроизмерительного прибора и переносного электрода сравнения. Одновременно в контрольных точках измеряют силу тока в электрической измерительной цепи, образованной корпусом судна, электроизмерительным прибором, присоединенным к корпусу, переносным электродом, подключенным к электроизмерительному прибору, и водой. Далее результаты измерений потенциалов и токов в контрольных точках сравнивают с их допустимыми значениями, оценивая состояние протекторов, лакокрасочного покрытия и водонепроницаемости корпуса судна.

Данный способ относится к средствам оперативного контроля систем фактической защиты стальных корпусов кораблей и судов от коррозии, и может быть использован на действующем судне при сдаче его в эксплуатацию, а также для оперативного контроля режима работы систем защиты судна от коррозии в процессе их эксплуатации. На этапе же сборки стальных корпусов и других металлоконструкций, когда основные сварные швы, протекторная и изолирующая защита еще отсутствуют, указанные средства контроля защиты не применимы. Кроме того, измерение силы тока в контрольных точках в электрической измерительной цепи, образованной корпусом судна, электроизмерительным прибором, присоединенным к корпусу, переносным электродом сравнения, подключенным к электроизмерительному прибору, и водой на этапе сборки металлоконструкции невозможно. Это связано с отсутствием на момент сборки металлоконструкции цельного корпуса судна и отсутствием его контакта с водой.

Ещё один способ, имеющий близкие недостатки, используется для контроля режима работы систем протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов [3]. Он включает периодическое (1 раз в месяц) измерение потенциала корпуса защищаемого объекта в контрольных точках по длине корпуса с помощью переносного электроизмерительного прибора (милливольтметра) и переносного электрода сравнения (хлорсеребряного электрода сравнения), сравнение результатов измерения потенциала с их допустимыми значениями, а также периодический (1 раз в месяц) визуальный осмотр протекторов и оценивание степени их износа.

Более перспективным является способ и устройство защиты от электрохимической коррозии сварной металлоконструкции [4], при котором измеряют термоэлектродвижущие силы (ТЭДС) в контактах всех допустимых сочетаний заготовок металлоконструкций и определяют оптимальное распределение заготовок в сварной металлоконструкции для соблюдения условий минимизирования максимальных по модулю значений ТЭДС, создаваемых по всем контактам пар заготовок. При превышении ТЭДС хотя бы в одной паре заготовок допустимых значений осуществляют замену заготовок до достижения установленных требований. Затем осуществляют остальные технологические операции по изготовлению сварной металлоконструкции.

В данном способе большой проблемой является использованный признак склонности металлоконструкции к электрохимической коррозии (ЭХК), носящий дифференциальный характер. Для его реализации требуется большой объем трудоемких измерений

ТЭДС всех допустимых сочетаний заготовок. Переход от измерения ТЭДС одной пары заготовок к другой связан со значительными трудозатратами. Использование автоматических процедур упорядочения по поиску оптимального распределения заготовок не приводит к существенному сокращению трудоемкости реализации способа, т.к. поиск требует проведения измерения в каждом варианте.

Резко сократить трудозатраты на поиск оптимального варианта распределения заготовок в металлоконструкции позволяет предлагаемый способ демпфирования электрохимической коррозии в процессе выполнении сборочных работ. Расширены технологические возможности и существенно сокращены сроки и объем производимых операций. Для этого перед сборкой металлоконструкции измерения напряжений проводят микровольтметром в паре с электродом сравнения отдельно в контакте с каждой заготовкой. Тем самым измеряют собственный потенциал заготовки в замкнутом контуре. По ней заготовки при сборке раскладывают по объекту так, чтобы в среднем по всей изготавливаемой металлоконструкции минимизировать модули показателей совместности элементов сварных узлов металлоконструкций – перепады измеренных потенциалов между всеми парами соединяемых заготовок. После чего выполняют другие операции по производству металлоконструкции.

При измерении при повышенной температуре рабочего спая в предложенном способе электрод сравнения нагревается (не остается холодным). Это позволяет увеличить величину собственного потенциала как заготовки, так и электрода сравнения, повысить точность определения разности потенциалов в спаях термопары при рабочей температуре измерения t_{pi} , а значит – повысить чувствительность и точность измерения собственного потенциала заготовки. Здесь под повышенной температурой нагрева рабочего спая термопары заявителем понимается температура, соответствующая рабочему диапазону температуры, при которой металлоконструкция эксплуатируется.

Использование в измерениях ненадежного хлорсеребряного электрода сравнения в известном способе снижает эксплуатационные свойства устройства-аналога. В предлагаемом способе электрод сравнения может быть достаточно разнообразным. Требуется лишь подобрать высокочувствительный электрод в паре со сталью.

Основным преимуществом использования в предлагаемой системе измерения по сравнению с дифференциальной является то, что реализация предлагаемой системы измерения не требует трудозатратного проведения измерений во всех возможных комбинациях заготовок. В предлагаемом способе число измерений мало и равняется числу заготовок.

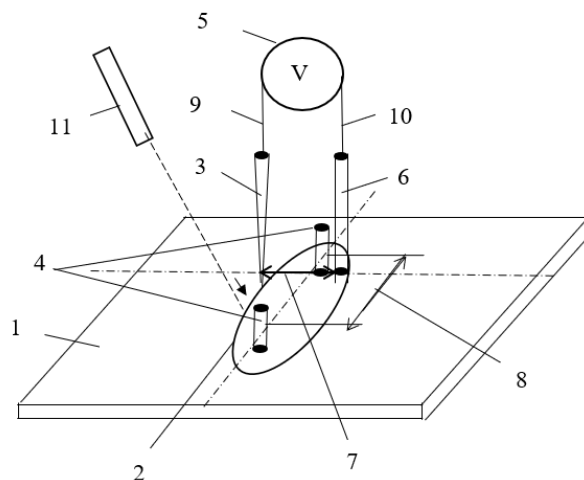
Основная идея способа состоит в учете при изготовлении стальных сварных металлоконструкций, стойких к электрохимической коррозии, специфических свойств сталей. Как показали наши исследования, собственные потенциалы сталей отличаются огромным разнообразием – от положительных до отрицательных значений. Они зависят от многих легирующих, включая кремний, углерод, марганец, алюминий и др. элементы. Эти зависимости оказываются многообразными, трудно предсказуемыми и существенно нелинейными. Большинство из них претерпевает перелом с возрастающего участка к понижающему в районе 30-40 °С, соответствующему температурной области эксплуатации обшивок судов. В этих условиях расстановка заготовок полотнищ обшивок судов только по единственному перепаду температуры, например, при 20 °С чревато тем, что при изменении перепада в ходе эксплуатации металлоконструкции в сварные узлы попадут заготовки с очень большими отличиями по собственному потенциалу. И этот узел будет быстро разрушаться. Поэтому на этапе сборки сварной стальной металлоконструкции предложено полнее измерять и учитывать собственные потенциалы стальных заготовок – не один, а несколько перепадов температуры, характерных для области эксплуатации обшивок судов, либо других стальных сварных металлоизделий. По ним – выбирать фактически имеющие место самые опасные перепады (с максимальными значениями собственных потенциалов) для каждой заготовки. А уже с отобранными собственными потенциалами заготовок производить оптимизацию распределения заготовок в сварной металлокон-

струкции. Общее понижение термоэлектродвижущих сил во всех сварных соединениях обеспечивает пониженную электрохимическую коррозию сварных узлов. А именно они определяют срок службы стальной сварной металлоконструкции.

Для упрощения, повышения надежности, точности, оперативности и эргономичности измерения температуры предложено использовать бесконтактный инфракрасный термометр, постоянно устанавливаемый в измерительном кондукторе, направляемый на изотермический овал заготовки, и служащий для измерения как температуры окружающей среды, так и температуры рабочего спая термопары.

Оптимальное распределение заготовок в сварной металлоконструкции достигается путем соблюдения условий минимизации максимальных по модулю значений термоэлектродвижущих сил, создаваемых по всем контактам, и отсутствия превышения в контакте хотя бы одной пары заготовок предельно допустимых значений термоэлектродвижущих сил, составляющих 5-8 мВ. При измерениях максимальных значений термоэлектродвижущих сил температуру заготовок уравнивают путем предварительных настроек нагревателя контактной сварки, используемого для нагрева упомянутых заготовок. При несоответствии заготовок в парах указанным условиям осуществляют замену заготовок до их соответствия в каждой паре данным условиям.

Измерение термоэлектродвижущих сил, создаваемых в термопарах, образованных в контактах всех пар заготовок металлоконструкции, осуществляют в кондукторе, собранном на базе установки для измерения термоэлектродвижущей силы термопары, изготовленной из двух электродов: из материала заготовки и материала электрода сравнения с известной стабильной зависимостью и высокой чувствительностью потенциала от температуры (рисунок 1).



1 – заготовка; 2 – овал изотермы нагрева заготовки до заданной рабочей температуры; 3 – наконечник компенсационного провода термопары; 4 – электроды пистолета для односторонней контактной сварки; 6 – электрод сравнения; 5 – микровольтметр; 7 – расстояние между наконечником компенсационного провода термопары 3 и электродом сравнения 6, равное ширине овала изотермы заданной температуры заготовки; 8 – расстояние между электродами пистолета для односторонней контактной сварки; 9 – компенсационный провод термопары из материала, близкого к материалу заготовки; 10 – компенсационный провод термопары из материала, близкого к материалу электрода сравнения, 11 – инфракрасный термометр

Рисунок 1 - Измерение собственного потенциала заготовки стальной сварной металлоконструкции

ТермоЭДС находятся путем измерения напряжения рабочего спая термопары при его нагреве до повышенной температуры t_{pi} , соответствующей заданной температуре эксплуатации металлоконструкции. При этом свободные концы электродов находятся при меньшей температуре окружающей среды t_{ci} . В качестве нагревателя заготовки используют пистолет для односторонней контактной сварки. Электроды пистолета фиксируют

на заданном межэлектродном расстоянии. Определяют ширину овала изотермы нагрева заготовки, на определенную ширину овала устанавливают наконечник и электрод сравнения, утыкая их в заготовку, направляют луч лазера бесконтактного инфракрасного термометра на овал изотермы нагрева. Измеряют термометром температуру окружающей среды t_{ci} , приравнивая её к температуре свободных концов термопары.

Измеряют собственный потенциал отдельно каждой заготовки в произвольной последовательности в электрической цепи измерительного устройства: «заготовка – контакт наконечника компенсационного провода термопары с заготовкой – сам наконечник – компенсационный провод из материала, близкого к материалу заготовок – микровольтметр – компенсационный провод из материала, близкого к материалу электрода сравнения – электрод сравнения – контакт электрода сравнения с заготовкой – заготовка» при перепадах температуры $\Delta t_i = t_{pi} - t_{ci}$ между рабочим спаем t_{pi} и свободными концами термопары t_{ci} , при которых эксплуатируется металлоконструкция. Задают диапазон рабочих температур эксплуатации стальной сварной металлоконструкции и интервал дискретизации рабочих температур, определяя тем самым число требуемых экспериментальных нагревов овала изотермы для каждой заготовки.

Зная t_{ci} и выбрав перепад температуры Δt_i , находят требуемую рабочую температуру овала t_{pi} при каждом измерении. Пистолетом 4-5 импульсами тока предварительно подогревают овал изотермы до температуры ($t_{pi} + (40-50 \text{ }^\circ\text{C})$) с получением расширенной области овала. Затем её медленно охлаждают до температуры овала t_{pi} , измеряемой с помощью бесконтактного инфракрасного термометра, с фиксацией по показаниям микровольтметра напряжения $u(\Delta t_i)$ при снижении температуры. По справочной таблице находят потенциал $\phi_C(\Delta t_i)$ электрода сравнения при перепаде температур Δt . Собственный потенциал заготовки $\phi_{ЗАГ}(\Delta t_i)$ при перепаде температур Δt_i находят вычитанием $\phi_C(\Delta t_i)$ из $u(\Delta t_i)$ при их одинаковой полярности или сложением при их разной полярности. Таким образом измеряют собственные потенциалы заготовок при всех учитываемых перепадах температур. Далее находят максимальные значения собственных потенциалов по всем перепадам температур в каждом данном контакте заготовок.

При сборке заготовки раскладывают по металлоконструкции так, чтобы в среднем по ней минимизировать модули максимальных алгебраических разностей собственных потенциалов, соответствующих максимальным по модулю значениям термоэлектродвижущих сил, по намеченным перепадам температур между всеми парами соседних заготовок. При этом если собственные потенциалы обеих заготовок имеют одинаковые знаки, то алгебраическую разность получают вычитанием, а если разные – сложением.

Библиографический список

1. Андреев, Н.Т. Ремонт судов [Текст]: монография / Н.Т. Андреев, О.А. Борчевский, В.Г. Луговых [и др.]. - Л.: Судостроение, 1972. - 568 с.
2. Способ контроля режима работы протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов [Текст]: пат. 2589246 Рос. Федерация: МПК G 01 N 17/00 / Шевцов В.А., Коростылев Д.В., Белозеров П.А., Белавина О.А., Адельшина Н.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Камчатский государственный технический». - № 2015104363/28; заявл.10.02.2015; опубл.10.07.16. Бюл. 19 - 3 с.
3. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме. М.: Госстандарт. - 14 с.
4. Способ и устройство защиты от электрохимической коррозии сварной металлопродукции [Текст]: пат. 2571293 Рос. Федерация: МПК C23F 13/00 / Веревкин В.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет». - № 2014105150/02; заявл.15.02.2014; опубл.20.12.15. Бюл. 35 - 23 с.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ГИДРОЦИКЛОНА КАК КОМПОНЕНТА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОИЗВОДСТВА

Скударнова Н.В.¹, Макаров Г.В.², Свинцов М.М.¹

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

²ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк,
severada4230@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается задача разработки структуры одного контура как компонента цифрового двойника производства. Для программной реализации был выбран алгоритм, сформированный на основе натурно-математического подхода. Показаны результаты моделирования на примере разработанного программно-алгоритмического модуля, реализованного для платформы Aveva System Platform.

Ключевые слова: натурно-модельный подход, моделирование, компьютерные тренажеры, цифровой двойник, АСУ ТП, Индустрия 4.0.

Abstract. The article considers the problem of developing a single loop as a component of a digital twin production. It uses a natural-mathematical approach in modelling for finding the solution of the task. The relevance of the selected modeling methods in the era of Industry 4.0 is shown on the example of the developed model, implemented on Aveva System Platform.

Keywords: natural-mathematical approach in modelling, modelling, computer simulator, control system, Industry 4.0.

Одним из путей повышения эффективности промышленных предприятий в настоящее время является цифровизация производства [1]. Она включает в том числе разработку цифровых моделей – цифровых двойников производства. В соответствии с ГОСТ Р 57700.37-2021, который вступает в силу с 01.01.2022, объединяя различные математические модели и методы имитационного моделирования в единую систему, можно получить новую сущность – цифровой двойник, которая позволяет всесторонне описать изделие и системно подойти к разработке, производству и эксплуатации изделий [2]. В предложенном программно-алгоритмическом модуле представлено объединение следующих моделей:

- модели логических состояний вход/выходных сигналов технологического оборудования и цепей управления им [3];
- пересчетные модели процессов данного технологического оборудования [4-5];
- модели конструктивных особенностей нестандартных изделий, влияющие на свойства объектов управления [6-7];
- модели статистических зависимостей и индикаторов предаварийных состояний оборудования [8];
- модели типопредставительных производственных ситуаций, сформированных по данным промышленной эксплуатации [9].

Предложенные модели составляют основу для комплексного подхода к моделированию технологических процессов, опирающийся на натурные данные, получаемые из его информационного отображения, различного рода модели, характеризующие каждый входящий в комплекс агрегат и связи между ними в соответствии с принципами системного подхода и моделирования сложных систем [10-11] позволяют реализовывать совместное моделирование технологических процессов и состояний оборудования [6]. Указанный подход может быть применен для мониторинга и прогнозирования показателей работы технологического объекта, моделирования и оценки управленческих решений оперативно-диспетчерского персонала, отработки принятия решений в различных ситуациях и предотвращения аварийных ситуаций до их критического влияния на процесс.

Применение средств и методов натурно-модельного подхода [4-5] в моделях цифрового двойника позволяет обеспечить высокую эффективность моделирования для систем, функционирование которых характеризуется высоким уровнем неопределенности,

нестационарностями различного рода, действием широкого спектра неконтролируемых возмущений с различными структурно-статистическими свойствами. За счёт использования дополнительных алгоритмических блоков может осуществляться не только выбор из предыстории одного из вариантов управляющих решений, но и их корректировка с целью получения оптимальных результатов [6].

Рассмотрим программную реализацию компонента на примере одного из типовых контуров обогащения угля в тяжелосреднем гидроциклоне (ТГЦ) обогатительной фабрики как компонента цифрового двойника всего производственного комплекса. Для эффективного управления этим контуром важной задачей является поддержание постоянного рабочего значения уровня в баке питания гидроциклона.

Особенностью программной реализации данного контура является использование связи SCADA с дополнительным программным обеспечением, реализованном на языке C#. Данное решение построено при помощи технологии OPC-сервера, использование которой, обусловлено возможностью получения натуральных данных с контроллера производственного контура в реальном времени. В роли OPC сервера выступает ПО KEPServerEX, а в роли OPC-клиента выступает SCADA-система InTouch, которая используется как диспетчерская система визуализации и управления технологическими процессами.

При создании подключения к OPC-серверу был применен стандарт OPC DA (Data Access), являющийся основным и наиболее востребованным стандартом [12]. Для реализации данной связи на стороне приложения была использована библиотека Nulasoft, которая позволяет использовать DAClient.

На рисунке 1 представлена функциональная схема взаимосвязей элементов цифрового двойника для контура тяжелосреднего гидроциклона.

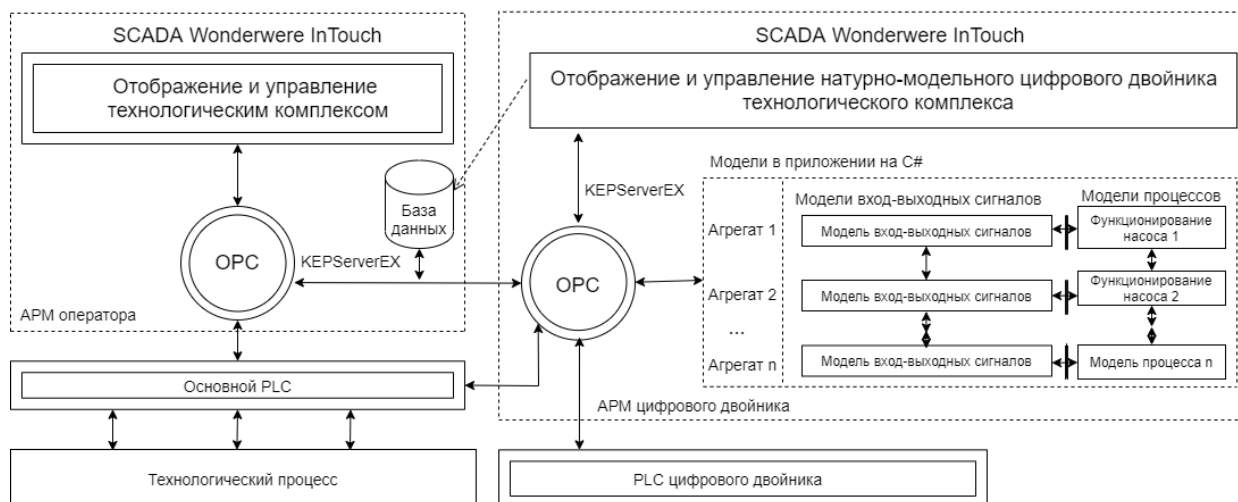


Рисунок 1 – Функциональная схема взаимосвязей элементов цифрового двойника

На рисунке 2 представлен интерфейс, отображаемый в InTouch. Выполнена визуализация процессов наполнения/опустошения зумпфов. Реализованы функции управления моделированием для пользователя системы. Диспетчер может изменять натурно-модельные значения частот насосов, а также регулировать время прогнозирования эффекта от изменений значением временной сдвигки. Присутствует функция обновления моделирования для его перезапуска.

Представленный на рисунке 2 контур включает в себя следующие агрегаты: зумпф питания гидроциклона (Питание ТГЦ I), зумпф кондиционной суспензии (ЦС I ТГЦ), два насоса (насос 1 и 2) и тяжёлосредний гидроциклон (ТГЦ).

Натурный уровень заполнения зумпфов отображается синим цветом, а натурно-модельные значения отображены зеленым цветом. В данном интерфейсе использованы

приглушенные цвета.

Подобные интерфейсы должны быть ориентированы на потребности пользователя, а именно быть простыми и удобными, в то же время, не перегружая зрительное восприятие многочисленной анимацией и 3D-элементами, при этом сохраняя свой функциональный смысл [13].

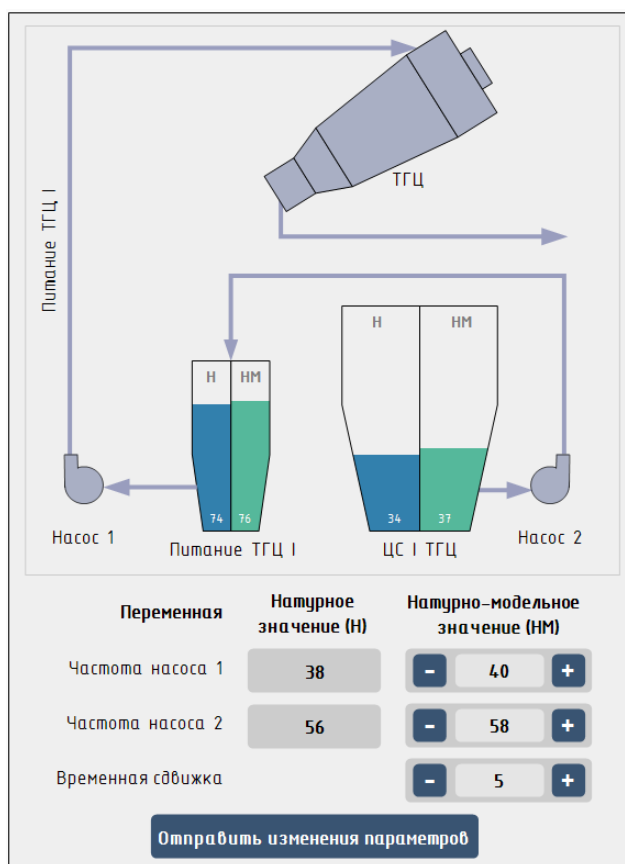


Рисунок 2 – Интерфейс в InTouch

На рисунке 3 отображено пользовательское окно приложения. В нем реализованы следующие возможности: чтение данных из InTouch, управление моделированием, возможность выбора режима работы агрегатов. Наличие вкладок позволяет осуществлять модульный подход, а именно проводить моделирование разных звеньев в одном приложении.

Для выполнения алгоритма через постоянные промежутки времени используется класс Timer. Для групп агрегатов создаются собственные классы. Объекты класса создаются перед объявлением таймера, таким образом, что можно их вызывать из любого места программы.

В данной модели был создан класс Tank, который соответствует зумпфам, также были созданы два экземпляра данного класса – tank1 и tank2. Номер в названии экземпляра соответствует позиции агрегата. Класс содержит в себе следующие поля: интегрирующий коэффициент, временную сдвигку, приращение частоты насоса, пересчетное значение уровня. Поля класса можно считать переменными. В классе реализованы два «метода» – текущая пересчетная модель уровня жидкости в зумпфе и натурно-модельный блок, учитывающий временную сдвигку.

Каждый отсчет таймера происходит подключение к данным из SCADA-системы для последующего их считывания при помощи инструментов из библиотеки Hylasoft, осуществляется проверка сигналов работы насосов и вызов метода для записи пересчетных значений. Если сигналы работы обоих насосов отсутствуют, моделирование не производится. Модельные значения передаются на OPC-сервер, который передает их в InTouch. Тик таймера в рассматриваемом примере равен 1000 мс.

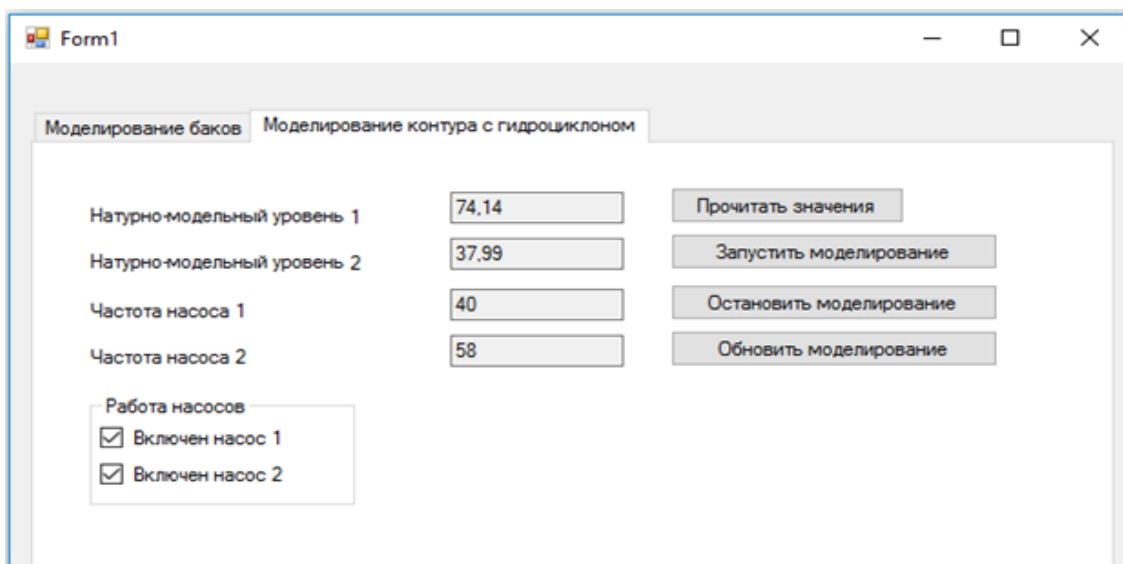


Рисунок 3 – Интерфейс приложения

На данном этапе разработки, значения параметров пересчетных моделей хранятся в оперативной памяти, что накладывает некоторые ограничения на взаимодействия звеньев с запаздыванием.

В дальнейшем, планируется разработка более сложной логики моделирования, что позволит охватить все производство. Данный подход даст возможность прогнозирования различных ситуаций, а также отработки принятия управленческих решений диспетчерского персонала.

Библиографический список

1. Коровин Д.Е., Грачев В.В., Мышляев Л.П., Иванов Д.В., Кулюшин Г.А., Загидулин И.Р., Свинцов М.М., Макаров Г.В. Цифровой двойник: понятие и перспективы использования в угольной отрасли// Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет. – 2021. – N 7. – С. 227-232.

2. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения : ГОСТ Р 57700.37-2021 - Издание официальное. - М. : ИПК Издательство стандартов, 2021.

3. Макаров Г.В. Моделирование логических состояний оборудования / Г.В. Макаров, Е.В. Тамаркина, М.В. Ляховец, А.С. Саламатин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019: труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Мин-во образования и науки РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т [и др.]; под общ. ред.: С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. - С. 108-113.

4. Авдеев В.П., Карташов В.Я., Киселев С.Ф. Натурно-математическое моделирование в системах управления. – Учебное пособие. – Кемерово: Кемеровский государственный университет. – 1987. – 84 с.

5. Евтушенко В.Ф. О натурно-модельном подходе и теории подобия применительно к системам управления / В.Ф. Евтушенко, А.А. Ивушкин, К.Г. Венгер, Л.П. Мышляев, Г.В. Макаров –Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS' 2019. –382 с.

6. Макаров Г. В., Саламатин А. С., Ляховец М. В., Скударнова Н. В. Совместное моделирование процессов и логических состояний оборудования// Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: Сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве» (ТИМ'2021) с

международным участием. – 2019. – 348 с.

7. Мышляев Л.П. Системные особенности настройки алгоритмов управления / Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Ивушкин К.А. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 333-336.

8. Ляховец М.В., Макаров Г.В., Саламатин А.С., Шипунов М.В. Оценивание предаварийных состояний технологического оборудования и контрольно-измерительных приборов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2020. – № 3. – с. 16-24.

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

10. Советов Б.Я. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. - 7-е изд. - М: издательство Юрайт, 2019. - 343 с.

11. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. -2-е изд., перераб. - М.: Наука, 1978. - 400 с.

11. Ковязин Р.Р., Применение технологии OPC// Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2003. – № 4(10) – 199 с.

12. Черников Б.В., Попов А.А. Оптимизация эргономических параметров интерфейса информационной системы // Известия Южного федерального университета. Технические науки: Научно-технический и прикладной журнал. – 2017. – № 3(188). – 283 с.

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В АСУТП ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Загидулин И.Р.¹, Саламатин А.С.¹, Макаров. Г.В.¹, Коршунов С.Ю.²

¹ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»,
Новокузнецк, Россия, mail@nicsu.ru

²АО «Стройсервис», Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрены достоинства и недостатки применения локальных систем управления в производстве. Описаны особенности при интеграции локальных систем управления в АСУТП обогатительной фабрики. Приведены варианты решения возникших проблем.

Ключевые слова: Автоматизированные системы управления, ПЛК, автоматизация, локальные системы управления.

Abstract. The advantages and disadvantages of using local control systems in production are considered. The peculiarities of integration of local control systems into the automatic process control system of a concentrator are described. The variants of the solution of arisen problems are given.

Keywords: automated control systems, PLC, automation, local control systems.

В настоящее время многие производители часто поставляют технологическое оборудование со своими собственными локальными системами управления.

Локальные системы управления (ЛСУ) – это такие системы, которые образуют нижний слой современных систем автоматизации управления объектами промышленного производства самых различных областей техники, научных исследований [1].

Достоинствами такого рода систем управления является возможность [2]:

– строить сложные, распределенные автоматизированные системы управления технологическим процессом базируясь на типовых решениях, применяемых для разных отраслей;

– разнести создание АСУТП во времени и тем самым приступить к вводу всего технологического процесса этапами;

– создавать системы управления малых производств или технологических устано-

вок не требующих создания всех видов обеспечения, относящихся к АСУТП.

Такие системы хорошо себя проявляют там, где не требуется высокая информационная мощность системы, в частности это организация управления отдельным оборудованием или небольшими производственными процессами, которые не связаны с другими технологическими процессами и работают автономно.

Но когда речь идет о таком сложном технологическом объекте, как обогатительной фабрики (ОФ), где предполагается слаженное взаимодействие различного технологического оборудования для достижения целей производства применение ЛСУ становится затруднительным.

Поэтому к недостаткам от применения ЛСУ можно отнести

– необходимость интеграции различных технических и программных средств в единую систему;

– повышенные затраты на закуп и эксплуатацию этих средств.

Не смотря на все затруднения при проектировании, наладке и эксплуатации ЛСУ, производители оборудования отказываются поставлять технологическое оборудование без них, либо в таком случае снимают гарантию.

Производители оборудования, чаще всего, разрабатывают паспорт изделия, в котором описываются основные технические решения, приводятся описание основных технических средств, электрические принципиальные схемы. Такой документ разрабатывается в 1 варианте, из-за чего возникают дополнительные трудности на этапе проектирования АСУ ТП всей ОФ:

1) технические средства ЛСУ отличаются от тех, что запроектированы для АСУ ТП ОФ. Это приводит к тому, что стыковка разного рода оборудования не будет осуществляться бесшовно с гарантированной надежностью;

2) эксплуатации придется хранить дополнительные запасные части, инструменты и принадлежности для каждой ЛСУ;

3) чаще всего частично или полностью отсутствует возможность интеграции ЛСУ в единую АСУ ТП ОФ.

Для устранения данных недостатков необходимо, чтобы по пожеланиям заказчика оперативно корректировали свой проект (паспорт изделия) производители ЛСУ, на что они идут крайне редко. Поэтому решение данной проблемы чаще всего переходит на разработчика АСУ ТП ОФ.

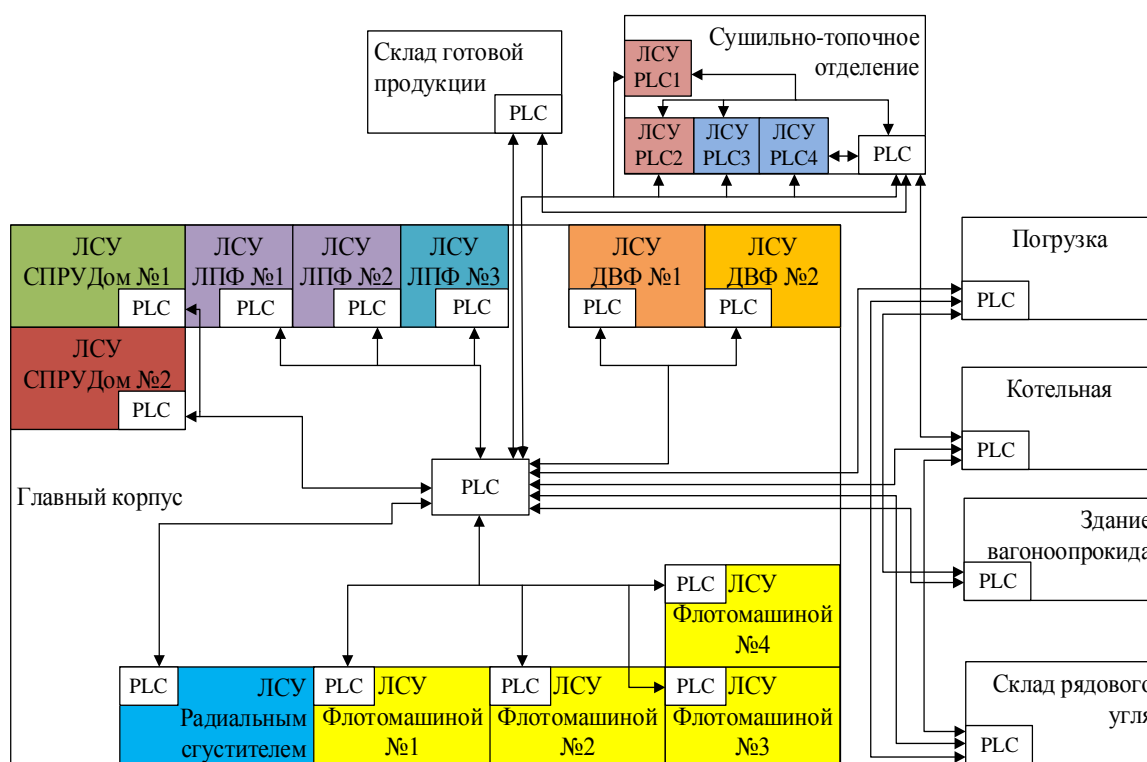
В нынешних реалиях данную ситуацию усугубляет то, что в связи с неблагоприятной эпидемиологической обстановкой во всем мире увеличены сроки поставки оборудования (от 6 месяцев и больше). Поэтому, для ускорения процесса введения в работу ОФ закуп оборудования, чаще всего, осуществляется параллельно с этапом проектирования по предварительным спецификациям. Это приводит к тому, что становится невозможно детально рассмотреть возможность интеграции ЛСУ в АСУ ТП ОФ на этапе проектирования. При этом бывают случаи, когда спецификация уже поставленного оборудования в ЛСУ не соответствует тому, что было получено предварительно от их производителя.

Из-за этого вылезает множество проблем на этапе проведения пуско-наладочных работ и эксплуатации. Дополнительные трудности на данных этапах вызывает еще и то, что чаще всего программный код, поставляемый вместе с ЛСУ, является закрытым (на нем стоит пароль). Это приводит к тому, что остается еще меньше вариантов для устранения недочетов, допущенных на этапе проектирования.

Авторам данной статьи пришлось столкнуться с комплексом данных проблем при проектировании и осуществлении пуско-наладочных работ. На рисунке 1 приведен пример технической структуры такой АСУ ТП ОФ.

Разными цветами на рисунке обозначены разные компании, осуществляющие поставку и проведение пуско-наладочных работ для данных ЛСУ. В этом случае приходится говорить об интеграции различного рода устройств, различных производителей, на различных протоколах, отдельных локальных систем управления со своими особенностями

работы. Для этого структура главной АСУ ТП должна иметь возможность подключения такого разнообразия, но без ущерба собственной производительности и безопасности [3].



СПРУД – станция приготовления флокулянта, ЛПФ -ленточный пресс-фильтр, ДВФ – дисковый вакуум-фильтр, PLC – программируемый логический контроллер (ПЛК)

Рисунок 1 – Пример технической структуры АСУ ТП ОФ

Из-за такого разнообразия возникли дополнительные трудности.

1. У ЛСУ радиальным сгустителем отсутствовал ПЛК. Интеграция в АСУ ТП ОФ осуществлялась при помощи нескольких дискретных сигналов. Из-за этого отсутствовала возможность предиктивной диагностики оборудования, более детального описания возникших неисправностей.

2. У некоторых одинаковых технологических агрегатов одного производителя координально отличались техническое и информационное обеспечение (например, у ЛСУ одного из трех ЛПФ; одного из двух ДВФ). Это было связано с тем, что поставки ЛСУ осуществлялись в разное время, а пуско-наладочные работы осуществляли разные подрядные организации.

3. В таблицах информационного обмена, поставляемые вместе ЛСУ флотомашинами, не соответствовали адреса фактическим. Данную проблему удалось устранить только опытным путем. Дополнительные сложности из-за этого возникли потому, что данные агрегаты находятся посередине основных технологических цепочек и должны были быть реализованы технологические блокировки для исключения возможности возникновения аварийных ситуаций. Каждый отказ, вызывающий его остановку, влечет за собой частичную или полную остановку фабрики [4].

Для устранения в дальнейшем таких недостатков предлагается рассмотреть альтернативный вариант проектирования АСУ ТП обогатительной фабрики, в основе которой заложена распределенная система управления, представленная на рисунке 2.

Реализация такого варианта представляет собой следующее:

- каждый комплекс управляется при помощи отдельного ПЛК посредством корзин удаленного ввода-вывода;
- все ПЛК предоставляются одной фирмой производителем;

– технологические блокировки реализуются как по физическим, так и по интерфейсным сигналам;

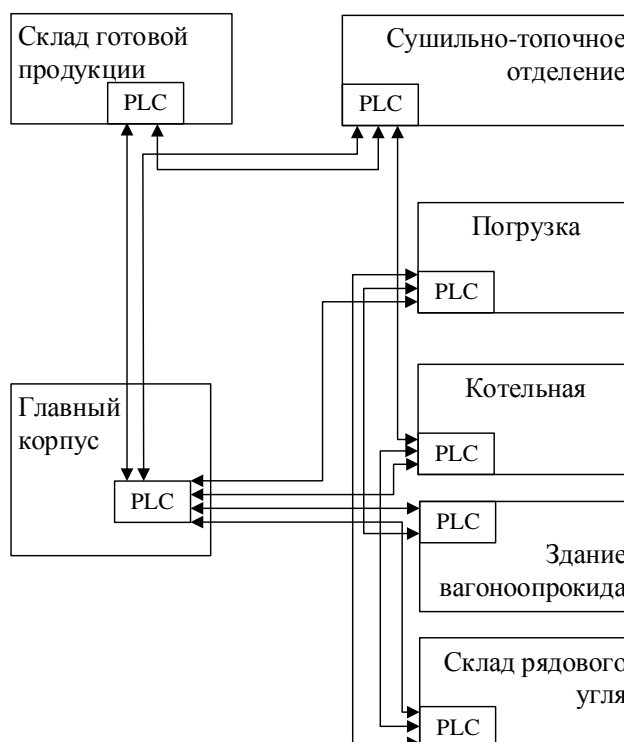


Рисунок 2 - Схема распределенной системы управления ОФ по комплексам

Такой подход рассмотрен авторами в [5], на рисунке 3 представлен пример такой технической структуры АСУ ТП.

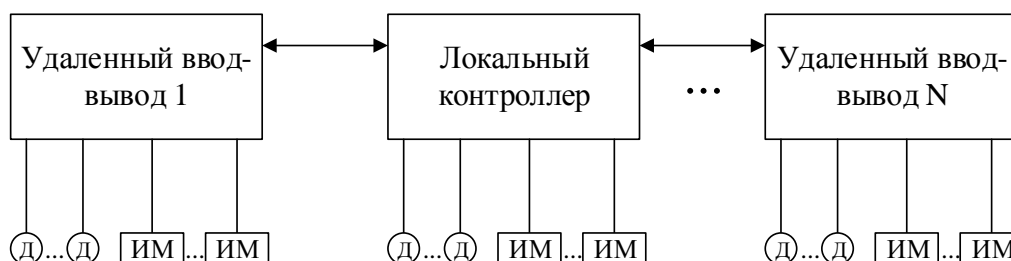


Рисунок 3 – Техническая структура АСУ ТП с удаленным вводом-выводом

В таких системах информация от датчиков, исполнительных механизмов и разного рода устройств, расположенных в различных технологических комплексах, обрабатывается при помощи модулей удаленного ввода-вывода. Такие модули располагаются в распределительных пунктах соответствующего технологического комплекса, они объединены в одну общую информационную сеть и передают данные об управляемых параметрах единому процессорному модулю. Данный подход не отменяет необходимость использовать локальные системы, но предлагает их применять там, где отмеченные недостатки интеграции не представляют серьезных проблем по взаимодействию с основной системой. Применение такого подхода в большинстве своем нивелирует недостатки традиционного способа и имеет следующие достоинства:

- позволяет повысить надежность системы;
- снижает стоимость разработки и эксплуатации системы;
- процесс эксплуатации АСУ ТП становится проще.

Библиографический список

1. Терехов В. А. Локальные системы управления: Учеб. пособие. / В. А. Терехов. – СПб: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. – 148 с.
2. Локальные системы управления технологическим процессом (ЛСУ ТП) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rtsoft.ru/project-cards/iusa/asu-tekhnologicheskikh-protseessov/technical-accounting-systems-for-energy-resources.php>. – Дата доступа: 25.10.2021.
3. Особенности интеграции систем управления многокомплексного распределенного производства / Г. В. Макаров [и др.] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2021. – С. 221–225
4. Особенности проведения пуско-наладочных работ на действующих объектах / М.В. Раскин [и др.] // Труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева.. – 2019. – С. 55–57.
5. Саламатин, А. С. Особенности распределенного управления промышленными объектами / А. С. Саламатин, Г. В. Макаров, М. В. Раскин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – 2019. – С. 45–48

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИСТОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Фастыковский А.Р., Кадыков В.Н., Мусатова А.И.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, fastikovskiy@mail.ru

Аннотация. С целью повышения эффективности функционирования листопрокатного цеха были проведены исследования организации производственных процессов, уровня загрузки основного и вспомогательного оборудования, на основании которых построены нормативные модели определения длительности операций, циклов, тактов процессов нагрева, прокатки, правки, порезки для выбора единого такта и расчета нормативной производительности системы (цеха), что позволило обосновать коэффициенты трудности по сортаменту выпускаемой продукции. Анализ результатов моделирования выявил диспропорции («узкие места») в работу вспомогательного оборудования. предложены варианты организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение технико-экономических показателей.

Ключевые слова: такты, моделирование, производительность, сортамент, коэффициенты трудности, варианты, организационно-технические мероприятия.

Abstract. In order to increase the efficiency of the sheet-rolling shop functioning, studies were carried out on the organization of production processes, the level of loading of the main and auxiliary equipment, on the basis of which normative models were built for determining the duration of operations, cycles, cycles of heating, rolling, straightening, cutting to select a single cycle and calculate the standard productivity systems (workshop), which made it possible to substantiate the coefficients of difficulty for the assortment of products. Analysis of the simulation results revealed imbalances ("bottlenecks") in the operation of auxiliary equipment. proposed options for organizational and technical measures aimed at improving technical and economic indicators.

Keywords: ticks, modeling, productivity, assortment, difficulty coefficients, options, organizational and technical measures.

На основе моделирования работы каждой единицы оборудования в исследуемом листопрокатном цехе были определены технически возможные (T_{obj}^{ms}) и нормативные (\dot{O}_{ij}^f) такты работы основного и вспомогательного оборудования для выбора единого такта работы жесткосвязанной производственной системы:

$$T_c^{ms(n)} = \max \left\{ T_{ин}^{ms(n)}, T_{n1}^{ms(n)}, T_{n2}^{ms(n)}, T_{лн}^{ms(n)}, T_d^{ms(n)}, T_2^{ms(n)} \right\}, c,$$

которая включает последовательно осуществляемые процессы нагрева слябов в методических печах, прокатки сляба в черновой и раската – в чистовой клетях, правки его в роллоправильной машине и дальнейшей порезки на ножницах (дисковых – для обрезки продольных кромок, гильотинных – для резки листового раската на заданные длины по заказам).

Результаты моделирования длительности производственных операций, циклов, тактов по сортаменту выпускаемой продукции выявили «узкие места» в работе вспомогательного оборудования, которые оказывают лимитирующее воздействие на основное оборудование (черновую прокатную клеть).

На основе оценивания тактов работы подсистем и системы в целом определялись технически возможные и нормативные производительности листопрокатного цеха по всему сортаменту листового проката.

Проведенный анализ расчетов показал, что «узкие места» в производственной системе являются «плавающими», то есть возникают на разных участках в зависимости от сортамента (размеров) заказанных потребителями листов (фрагменты приведены в таблицах 1, 2).

Разработанная нормативная база показателей позволила определить нормативные коэффициенты трудности по сортаменту выпускаемой продукции, которые вычислялись по формулам:

$$k_{mpij} = \frac{P_{o\gamma}^n}{P_{i\gamma}^n}; \quad P_{o\gamma}^n = \max\{P_{1\gamma}^n, \dots, P_{i\gamma}^n, \dots, P_{m\gamma}^n\}, \text{ Т/ч,}$$

где $P_{o\gamma}^n$, $P_{i\gamma}^n$ – нормативные часовые производительности цеха, соответствующие основной (базовой) и i -й продукции каждого размера листа с учетом γ -й марки стали.

Укрупненная схема расчета коэффициентов трудности для листопрокатного цеха приведена на рисунке.

Предлагаемые нормативные коэффициенты трудности (сложности) для производства продукции листопрокатного цеха необходимы для определения плановых и прогнозных значений показателей производственной программы на месяц, квартал при использовании условно-натуральных (приведенных) единиц измерения объема производства, а также при расчете сортаментных калькуляций продукции и др.

Для ликвидации «узких мест» рекомендуется разработать организационно-технические мероприятия, направленные на повышение пропускной способности вспомогательных участков до уровня, обеспечивающего максимально возможную производительность листопрокатного цеха.

Далее рассматриваются организационно-технические мероприятия, направленные на повышение эффективности работы исследуемого листопрокатного цеха.

Организационные мероприятия – не требующие капитальных вложений (за счет внедрения предлагаемых оптимальных режимов обжатий в клетях для сокращения цикла прокатки).

Разработанные оптимальные обжатия позволяют операторам поста управления рационально осуществлять процесс прокатки, тем самым сократить количество пропусков и, следовательно, уменьшить цикл работы черновой и чистовой клетей, увеличить производительность листопрокатного цеха.

Организационно-технические мероприятия – требующие капитальных вложений при внедрении предлагаемых технических решений для улучшения качества продукции.

На основании анализа технико-экономических показателей работы цеха, подробного изучения техники, технологии, организации производства, комплексных исследований на каждом участке цеха, а также проведенных модельных расчетов было выявлено, что «узким (лимитирующим) местом» в цехе является чистовая клеть.

Таблица 1 – Оценивание технически возможных и нормативных тактов работы системы (листопрокатного цеха)

Размеры листа, мм Марка стали	Обозначение	Такты работы оборудования (подсистем), с								Такт работы системы, с
		нагрева в печах			прокатки в клетях		правки в машине	порезки на ножницах		
		одной	двух	трех	черновой	чистой		дисковых	гильотинных	
6000×1500×5 10ХСНД	T_{obj}^{me}	98,50	49,25	32,83	44,91	64,93	50,77	53,45	44,51	64,93
	T_{obj}^n	105,91	52,96	35,30	50,46	71,35	53,44	65,18	48,91	71,35
6000×1260×13 60-75Г	T_{obj}^{me}	112,90	56,45	37,63	27,71	33,67	18,26	19,48	21,50	37,63
	T_{obj}^n	121,39	60,70	40,46	30,78	37,00	19,22	22,4	23,63	40,46
4500×1400×9 ШХ15	T_{obj}^{me}	109,41	54,70	36,47	33,00	43,56	28,31	31,06	30,52	43,56
	T_{obj}^n	118,92	59,46	39,64	37,07	47,87	29,80	36,54	33,54	47,87

Таблица 2 – Расчет технической возможной и нормативной производительности листопрокатного цеха (фрагмент)

Марки стали	Размеры листа, мм			Масса, т		Кратность раската	Размеры сляба, мм			Такт работы системы, с	«Узкое место»	Производительность системы (цеха), т/ч	
	длина	ширина	толщина	листа	раската годного		толщина	ширина	длина			технически возможная	нормативная
10ХСНД	6000	1500	5	0,353	1,059	3	140	700	1653	64,93	чистовая клеть	58,75	53,47
60-75Г	6000	1260	13	0,772	0,772	1	140	800	1031	37,63	печи	73,8	68,60
ШХ15	4500	1400	9	0,445	0,890	2	140	700	1487	43,56	чистовая клеть	73,57	66,95

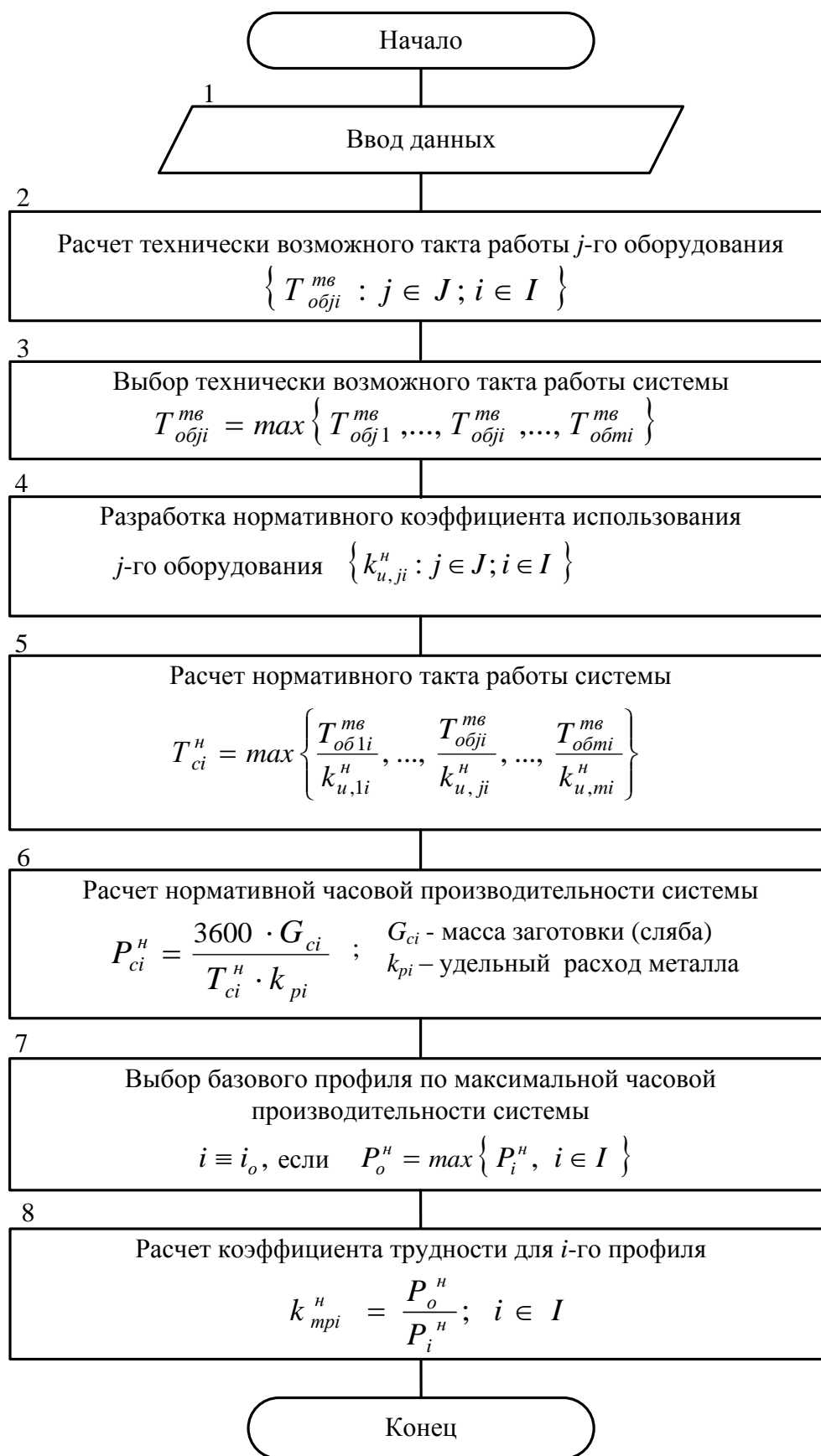


Рисунок 1 – Схема расчета коэффициентов трудности производства продукции листопрокатного цеха

Чистой клетки присущи многие недостатки: малая жесткость валковой системы, повышенный износ среднего вала, необходимость применения подъемно-качающихся столов, ударные нагрузки в момент захвата раската при большой (постоянной) скорости вращения валков. Кроме того, клеть не отвечает требованиям по разнотолщинности готовой продукции. В процессе прокатки управление поперечной и продольной разнотолщинностью возможно обеспечением повышением жесткости прокатной клетки, а также профилированием бочки прокатных валков.

В качестве примера рассмотрены два варианта реконструкции действующего листопрокатного цеха с целью увеличения выпуска и улучшения качества готового проката.

Вариант № 1. Предлагается замена чистой клетки «Трио» на новую клеть «Кварто», что позволит улучшить качество горячекатаных листов по допускам на геометрические размеры и по механическим свойствам металла. Кроме того, появится возможность расширения сортамента выпускаемых листов по толщине и ширине, повысится надежность работы оборудования и улучшатся условия его эксплуатации. Клеть «Кварто» состоит из двух рабочих валков и двух опорных. При прокатке давление металла на рабочие валки передается на бочки опорных валков и воспринимается их подшипниками. Поэтому за счет большой жесткости опорных валков (диаметр которых в 2,5–3 раза больше, чем у рабочих валков) прогиб их будет незначительным и профиль прокатываемой полосы будет иметь прямоугольное сечение с весьма небольшой разнотолщинностью по ширине полосы.

Вариант № 2. Предлагается на существующей чистой клетке «Трио» заменить валки с гладкой бочкой на профилированные валки S-образной формы. Профилировка валков совместно с применением противоизгиба должна обеспечить выпуск полос с минимальной поперечной разнотолщинностью, так как прокатка будет идти с повышенными обжатиями, увеличатся абсолютные обжатия в последних пропусках. Кроме того, профилировка должна способствовать устойчивому положению полосы в валках и повышению стойкости последних. Большое значение имеет также удобство выполнения профилировки на профилешлифовальном станке обычной конструкции.

Сравнительная оценка нормативных значений показателей двух рассматриваемых вариантов реконструкции представлена в таблице 3. Решение о выборе варианта реконструкции, которую целесообразно осуществить, принимает руководство предприятия.

Таблица 3 – Основные технико-экономические показатели листопрокатного цеха

Наименование показателей	Единицы измерения	Нормативные значения		
		до реконструкции	после реконструкции	
			№ 1	№ 2
1. Производительность цеха	т/ч	68,5	91,9	74,5
2. Прирост продукции	%	–	35,5	9,5
3. Себестоимость продукции	руб/т	11270,2	11050,1	11103,0
4. Условно-годовая экономия	млн руб	–	149,9	92,0
5. Объем продаж	млн руб	7232,5	10574,6	8573
6. Прибыль	млн руб	2030,5	3044,7	2316
7. Рентабельность продукции	%	35	38	37
8. Инвестиции	млн руб	–	110	17
9. Срок окупаемости инвестиций	лет	–	2,3	0,3

В результате моделирования работы листопрокатного цеха были определены и внедрены в производство оптимальные режимы обжаривания слябов, что позволило операторам постов управления сократить длительность прокатки. Для рабочих-огнерезчиков предложены рациональные приемы и методы зачистки поверхности слябов, за счет чего сократилась длительность подготовки слябов к нагреву; обоснованы нормативные коэффициенты использования оборудования, что дало возможность синхронизировать порезку раскатов на дисковых и гильотинных ножницах.

Следует отметить, что оптимально планировать процесс производства с учетом ситуаций можно даже при существующих в цехе технических и технологических диспропорциях путем корректировки последовательности выполнения заказов по сортаменту и определения необходимого количества функционирующих нагревательных печей. Например, для некоторых размеров готовых листов достаточно нагревать заготовки (слябы) не в трех, а двух методических печах, что даст возможность снизить затраты на технологическое топливо и сократить издержки производства, тем самым улучшить технико-экономические показатели работы листопрокатного цеха.

Выводы. Разработанные нормативные модели позволяют: выявить «узкие места»; осуществить прогнозирование показателей при изменении сортамента с учетом совершенствования технических средств и внедрения новой технологии; оценить эффективность работы цеха по ситуациям на основании сравнительного анализа отчетных и нормативных показателей производственной программы, себестоимости, прибыли и рентабельности продукции.

В современных условиях актуальным являются изыскание и мобилизация организационно-экономических резервов предприятия, направленных на эффективное использование техники, технологий, повышение качества продукции, оптимальное планирование и оперативное управление производственным процессом.

Библиографический список

1. Мусатова А.И., Кадыков В. Н., Кулаков С.М. Оценивание производительности производственной системы на основе тактового подхода // Научное обозрение. 2014. № 5. С. 253–262.
2. Медиков В.Я. Производственные мощности и их использование. Москва: МГУП, 2002. 246 с.
3. Timing Models in the reengineering of metallurgical production systems / Kulakov S.M., Musatova A. I., Kadykov V.N., Baranov P.P. // Steel in translation. 2015. Vol. 45. No 5. P. 367–375.
4. Кадыков В.Н., Кулаков С.М., Мусатова А.И. Алгоритмизация оценивания ситуационных тактов работы прокатного комплекса // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 8. С. 61–69.
5. 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.

ПРИНЦИПЫ ВЕЙВЛЕТ-УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ДОЗИРОВАНИЯ В СМЕСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Федосенков Д.Б.¹, Сулимова А.А.², Симилова А.А.², Федосенков Б.А.²

¹ООО «Сибирская генерирующая компания», Москва

²Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия, rafwaveletsve@mail.ru

Аннотация. В статье представлен подход, используемый для отображения материалопотоковых процессов, для решения задач управления режимами дозирования и смешивания сухих материалов. В соответствии с этим подходом, алгоритм вейвлет-поиска соответствия (ВПС) адаптирован для аппроксимации сигналов материальных потоков на выходе блока дозирующих устройств в составе смесеприготовительного агрегата. Благодаря такой процедуре, формируются аналитические 1D-сигналы, восстанавливаемые на основе вейвлетов Габора. Представлена алгоритм процедуры вейвлет-поиска соответствия.

Ключевые слова: дозирование сухих материалов, распределение Вигнера, вейвлеты Габора, алгоритм вейвлет-поиска соответствия

Abstract. The article presents an approach that can be used to display material flow processes for solving the problem of controlling the regimes of feeding and mixing dry materials. In accordance with this approach, the wavelet matching pursuit (WMP) algorithm was adapted for approximation of material flow signals at the output of a feeding devices unit within the frames of the mixture preparation aggregate. Because of such a procedure analytical 1D-signals are formed that are considered as restored based on Gabor wavelets. The algorithmic flowchart of the wavelet matching pursuit procedure is presented here.

Keywords: feeding of dry materials, Wigner distribution, Gabor wavelets, wavelet matching pursuit algorithm.

Целью исследования является разработка метода графической визуализации в вейвлет-среде представления текущих режимов работы смесеприготовительного агрегата для задачи управления динамикой нестационарных процессов, и в частности процессов дозирования и смешивания сухих материалов для получения высококачественных многокомпонентных пищевых смесей.

Задачами исследования являются: адаптация алгоритма вейвлет-поиска соответствия (ВПС) для аппроксимации сигналов пищевых материалопотоков на выходе определенного устройства дозирования и/или блока дозирующих устройств и формирование время-частотных представлений (карт Вигнера [1, 2]) этих сигналов, подходящих для идентификации режимов работы.

В большинстве случаев, автоматизированные системы управления процессами дозирования сухих компонентов основаны на принципе поддержания нагрузки на дозирующие устройства на заданном уровне с помощью косвенных методов: измерения активной мощности электропривода, шума, давления на опорный подшипник и т.д.

Эти системы по своей сути являются одномерными, для их обработки используются только скалярные сигналы материалопотоков колебательного типа. Таким образом, функция управления и мониторинга, основанная на аналогичных сигналах, практически «слепа», поскольку нет традиционной функции для визуального мониторинга такого процесса. Поэтому вопросы визуализации процессов дозирования и приготовления многокомпонентных смесей на основе автоматизации и управления их динамикой являются актуальной задачей.

Научная новизна работы заключается в использовании процедуры преобразования 1D-сигналов материалопотоков в изображение формата 2D/3D в виде время-частотных распределений, полученных с помощью вейвлет-преобразований. На практике такое преобразование позволяет повысить эффективность функций управления и одновременно организовать синхронный визуально-графический мониторинг с семантически четкой структурой, позволяющий отслеживать текущий технологический процесс и генерировать определенные управляющие воздействия, которые прикладываются к исполнительным механизмам агрегата. В лабораториях кафедры информационных и автоматизиро-

ванных производственных систем Кузбасского государственного технического университета проведена апробация разработанного метода управления на полупромышленном оборудовании.

Методы исследования

При использовании алгоритма вейвлет-поиска соответствия [1, 2] на основе определенной материнской функции $g(t, \tau, s, \xi)$ информационная среда соответствующего вейвлет-тезауруса (словаря) генерируется в виде семейства вейвлет-функций посредством масштабирования (s), смещения (τ) и модуляции (ξ) материнского вейвлета. В качестве основной вейвлет-функции был выбран вейвлет Габора (Рис. 1а), поскольку последний наилучшим образом соответствует локальным структурам анализируемых сигналов материалопотока:

$$g_{\gamma}(t) = S^{-0.5} g\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \exp(j\xi t), \text{ где } g\left(\frac{t-\tau}{s}\right) - \text{ функция Гаусса;}$$

где $\gamma = \{\tau, s, \xi\}$ - индекс параметров вейвлета Габора.

На рисунке 1б представлены аналогичный сигнал расхода (на выходе дозирующего устройства) и аппроксимирующий вейвлет Габора (рисунок 1а).

На рисунке 1 показан центрированный сигнала расхода

$$f^0(t): f^0(t) = f(t) - \overline{f(t)},$$

где $\overline{f(t)}$ - среднее значение сигнала расхода (постоянная составляющая),

$\overline{f(t)} = \frac{1}{t_{\text{rec}}} \int_0^{t_{\text{rec}}} x(t) dt$, где t_{rec} - интервал регистрации сигнала.

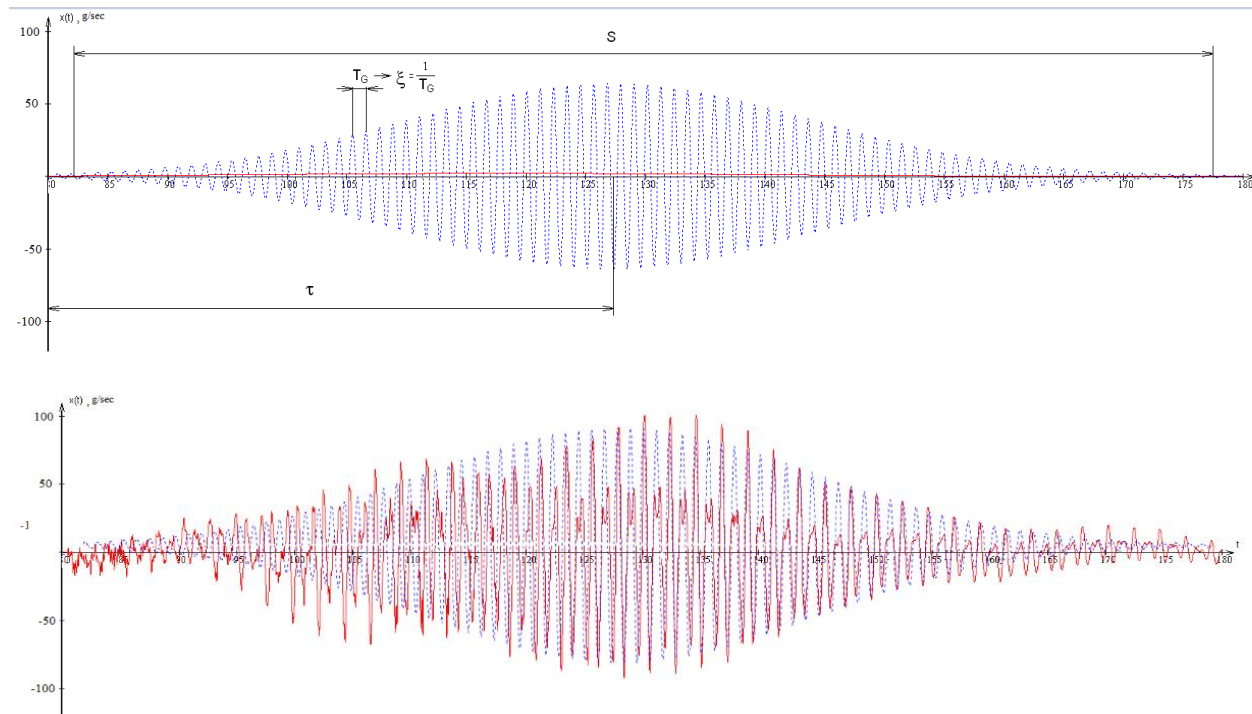


Рисунок 1 - Формы сигналов: а) вейвлет Габора, адаптированный к процессам дозирования; б) сигнал расхода дозирующего устройства, спроецированный на вейвлет-функцию Габора

На рисунке 2 представлен реальный сигнал текущего расхода материала шнекового дозатора (а) и этот же сигнал в центрированной форме (б).

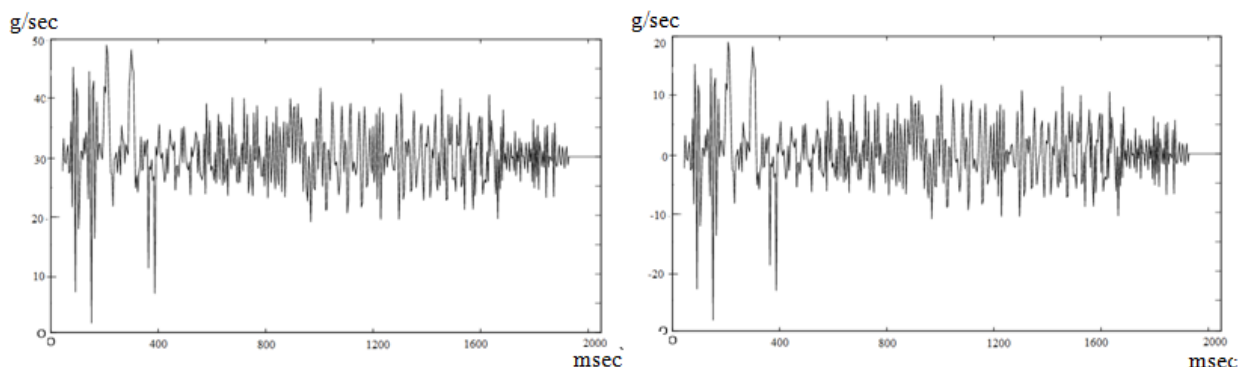


Рисунок 2 - Формирование центрированного сигнала расхода

Опишем процедуру реконструкции (восстановления) исходного сигнала на основе его адаптивной аппроксимации в виде ряда, состоящего из вейвлет-функций.

Когда словарь чрезмерно избыточен, поиск векторов наилучшего соответствия, относящихся к сигналу или его остаткам, может быть ограничен редуцированным словарем $D_\alpha = (g_\gamma)_{\gamma \in \Gamma_\alpha} \subset D$. Предположим, что Γ_α это конечный индекс множества, входящего в множество Γ , так что для каждого сигнала $f \in H$, где H – пространство функций сигнала с конечной энергией, имеем:

$$\sup_{\gamma \in \Gamma_\alpha} |\langle f, g_\gamma \rangle| \geq \alpha \sup_{\gamma \in \Gamma} |\langle f, g_\gamma \rangle|,$$

где $\langle f, g_\gamma \rangle$ – скалярное произведение сигнала и вейвлета с индексом γ .

В зависимости от α и избыточности словаря, набор Γ_α может быть намного меньше, чем Γ . Поиск соответствия инициализируется вычислением скалярных значений $(\langle f, g_\gamma \rangle)_{\gamma \in \Gamma_\alpha}$, и продолжает работать по индукции в соответствии со следующей схемой.

Предположим, что скалярное произведение $(\langle R^n f, g_\gamma \rangle)_{\gamma \in \Gamma_\alpha}$ уже рассчитано на итерации с номером $n \geq 0$. Здесь $R^n f$ понимается как остаточный сигнал после n -й итерации в рамках заданной аппроксимации. В сокращенном словаре D_α ищется такой элемент (словарная форма сигнала $g_{\bar{\gamma}_n}$), который удовлетворяет условию $|\langle R^n f, g_{\bar{\gamma}_n} \rangle| = \sup_{\gamma \in \Gamma_\alpha} |\langle R^n f, g_\gamma \rangle|$. Чтобы найти элемент словаря, соответствующий f лучше, чем $g_{\bar{\gamma}_n}$, по методу Ньютона [3] можем найти индекс γ_n вблизи $\bar{\gamma}_n$ в множестве Γ , где $|\langle f, g_\gamma \rangle|$ достигает локального максимума. Очевидно, что $|\langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle| \geq |\langle R^n f, g_{\bar{\gamma}_n} \rangle| \geq \alpha \sup_{\gamma \in \Gamma} |\langle R^n f, g_\gamma \rangle|$.

Заметим, что выбранная функция неявно определяется концепцией двойного поиска, упомянутого выше. После выбора вектора g_{γ_n} скалярное произведение вычисляется для нового остатка $R^{n+1} f$, поэтому получим

$$\langle R^{n+1} f, g_\gamma \rangle = \langle R^n f, g_\gamma \rangle - \langle R^n f, g_m \rangle \langle g_m, g_\gamma \rangle.$$

Поскольку $\langle R^n f, g_\gamma \rangle$ и $\langle R^n f, g_m \rangle$ были ранее сохранены, то задача обновления выполняется как простое вычисление скалярного произведения $\langle g_m, g_\gamma \rangle$. Как правило, словари строятся таким образом, что этот скалярное произведение получается с небольшим

количеством операций. Количество времени, необходимое для разложения остатков сигнала f , зависит от желаемой степени точности аппроксимации. Число итераций равно минимальному p , так что векторный остаток после p -ой итерации имеет вид:

$$\|R^p f\| = \left\| f - \sum_{n=0}^{p-1} \langle R^n f, g_n \rangle g_n \right\| \leq \varepsilon \|f\|.$$

Из условия сохранения энергии $\|f\|^2 = \sum_{n=0}^{m-1} |\langle R^n f, g_n \rangle|^2 + \|R^m f\|^2$ следует, что

$$\|f\|^2 - \sum_{n=0}^{p-1} |\langle R^n f, g_n \rangle|^2 \leq \varepsilon^2 \|f\|^2.$$

Поскольку остаток не вычисляется, можно остановить разложение на каждой итерации, проверив правильность расчёта. Другими словами, итерационный процесс завершается, когда выполняется условие $\|R^n f\| \leq \varepsilon \|f(t)\|$, т.е. когда векторный остаток $R^n f$ после n -й итерации становится меньше заданной ошибки аппроксимации сигнала $\varepsilon \|f(t)\|$. Количество итераций p зависит от скорости сжатия $\|R^n f\|$. Первые могут варьироваться в широких пределах в зависимости от формы сигналов.

Уменьшение векторного остатка $\|R^n f\|$ зависит от корреляции между остатками и элементами словаря. Определим коэффициент корреляции для сигнала $f \in H$ относительно D как

$$\lambda(f) = \sup_{\gamma \in \Gamma} \frac{|\langle f, g_\gamma \rangle|}{\|f\|} = \frac{\sum_{i=1, N} (f_i \cdot g_i)^{0.5}}{\left\| \sum_{i=1, N} (f_i^2)^{0.5} \right\|}.$$

Полная вычислительная сложность вычислений для одной итерации в алгоритме поиска вейвлет-соответствия имеет порядок $O(N \log N)$. Таким образом, при использовании гауссовых и гармонических функций каждая итерация требует примерно столько же времени работы центрального процессора, сколько тратится на реализацию быстрого преобразования Фурье [3] при анализе решетчатого сигнала с N выборками.

Рассмотрим подробно технологию итерационной процедуры. На первом шаге выбирается вектор g_{γ_0} , который дает наибольшее скалярное произведение с сигналом $f(t)$:

$$f = \langle f, g_{\gamma_0} \rangle g_{\gamma_0} + R^1 f. \quad (1)$$

Затем остаточный вектор $R^1 f$, полученный после аппроксимации f в направлении g_{γ_0} , разлагается аналогичным образом. Итерационная процедура повторяется для последовательно получаемых остаточных векторов $R^n f$, $n = \overline{0, m}$. Таким образом, на каждой итерационной фазе процесса выбирается одна вейвлет-функция. Здесь $(i+1)$ – номер итерации для индекса γ_i , в котором выбранный вейвлет приводится в выражение аппроксимации (1) по критерию максимума скалярного произведения определенной вейвлет-функции, извлекаемой из словаря, и вектора невязки на $(i+1)$ -й итерации. Отсюда,

$$R^n f = \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f,$$

где $R^n f = R^0 f \equiv f(t)$ является остаточным вектором на нулевой итерации, который равен анализируемому исходному сигналу $f(t)$.

Таким образом, сигнал может быть разложен на сумму время-частотных атомов, выбранных оптимально соответствующими остаткам сигнала:

$$f = \sum_{n=0, m} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f.$$

В [2] доказано, что эта процедура сходится к $f(t)$, когда количество сигналов в избыточном словаре $m \rightarrow \infty$, т. е.:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \|R^m f\| = 0,$$

где $R^m f$ является вектором невязки на m -й итерации; $\|R^m f\|$ является нормой вектора невязки, последний представляет собой решетчатую функцию

$$f[(kT)_0] = \sum_{k=0, L} f(kT)_0 \delta(t - kT),$$

где $(kT)_0$ - дискретное время для централизованного решетчатого сигнала $f[(kT)_0]$;

L - размерность сигнала (количество цифровых отсчетов). Следовательно, аппроксимация сигнала $f(t)$ с числом итераций n в рамках алгоритма вейвлет-поиска соответствия и словарных вейвлет-функций $g(t)$, выбранных в направлении вектора индекса γ_n , определяется как

$$f(t) = \sum_{n=0, m \rightarrow \infty} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n},$$

где числовой вектор n вейвлет-функции также является решетчатой функцией с шагом в единицу.

В этом случае квадрат нормы сигнала равен $\|f\|^2 = \sum_{n=0}^m |\langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle|^2$.

Это означает, что сумма квадратов дискретного решетчатого сигнала $f(t)$ равна сумме квадратов скалярных произведений остаточных векторов $R^n f$, разложенных в направлении основных вейвлет-функций g_{γ_n} .

Результаты и обсуждение

Пример, показывающий технологию выполнения алгоритма вейвлет-поиска соответствия, представлен на рисунке 3.

Для любого вейвлет-индекса $\gamma = (\tau, s, \xi)$ при $\xi \neq 0$ и любой начальной фазы $\phi \in [0, 2\pi]$ можно определить

$$g(\gamma, \phi) = \frac{K(\gamma, \phi)}{\sqrt{S}} g\left(\frac{t - \tau}{s}\right) \cdot \cos(\xi t + \phi) \quad (2)$$

Начальная фаза, ранее скрытая в комплексных числах, теперь ясно видна как один из четыре

х параметров реальных атомов. Словарь атомов с время-зависимой частотой определяется выражением (2). Поиск соответствия, выполняемый с помощью этого словаря, раскладывает любой реальный сигнал в ряд вейвлет-функций вида

$$f(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} \langle R^n f, g(\gamma_n, \phi_n) \rangle g(\gamma_n, \phi_n)(t),$$

где индексы $(\gamma_n, \phi_n) = (\tau_n, s_n, \xi_n, \phi_n)$ выбраны так, чтобы наилучшим образом соответствовать остаткам сигнала.

Анализ аналогичных частотно-временных карт сигналов материальных потоков и

идентификация параметров время-частотных атомов, определяющих характер текущих режимов работы, позволяет генерировать управляющие воздействия для коррекции и стабилизации режимов работы дозирочного и смесительного оборудования.

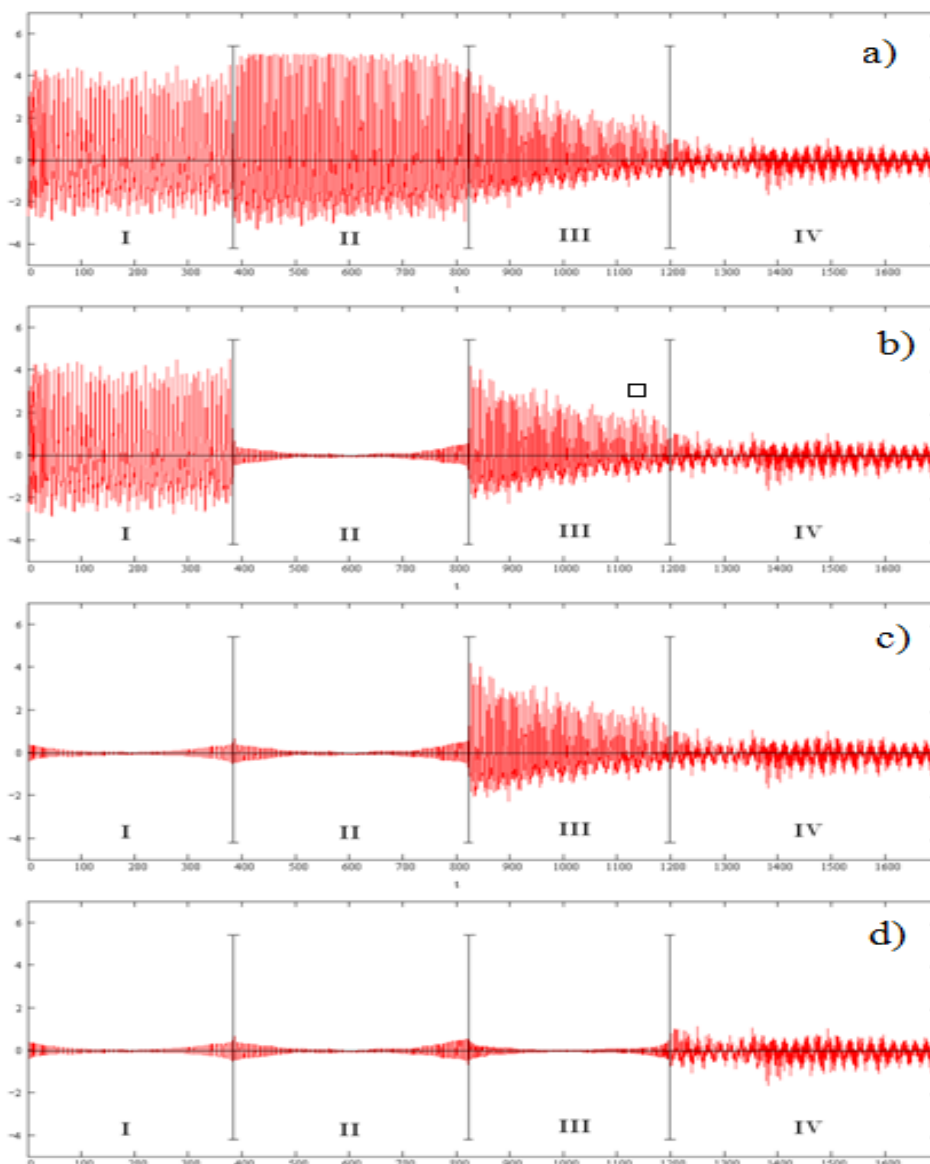


Рисунок 3 - Технология получения остаточных векторов: а) исходный сигнал, б), в), г) являются остаточными сигналами после 1-й, 2-й и 3-й итераций

Библиографический список

1. Федосенков, Б.А. Управление смесеприготовительным агрегатом на базе вейвлет-преобразований / Б.А. Федосенков, А.С. Назимов, А.В. Шебуков // Автоматизация и современные технологии. Автоматизация научно-исследовательских и производственных процессов. – 2004. – №8. – С. 7–13.
2. Mallat, S. Matching pursuit with time-frequency dictionaries / S. Mallat and Z. Zhang // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1993. – Vol. 41, № 12. – P. 3397–3415.
3. Rade, L. Mathematics Handbook for Science and Engineering / L. Rade and B. Westergren // 5-th Edition. - 2004. - Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York. – 562 p.
4. Cohen, L. Time-frequency analysis / L. Cohen. - Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995.
5. Использование технологий вейвлет-мониторинга как средства управления динамикой стационарных и нестационарных процессов / К. А. Дацук, Е. Н. Карнадуд, Д. Б.

Федосенков и др. // Сборник трудов 9-й межд. научно-практической конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 22-23. 04. 2010, Санкт-Петербург, Россия. – Том № 3. – С. 256–258.

6. Debnath, L. Recent development in the Wigner-Ville distribution and time-frequency signal analysis // Proceedings of the Indian National Science Academy (PINSIA), January 2002. 68A:1. – P. 35–56.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ СИТУАЦИОННОГО ОЦЕНИВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКАЗОВ НА ПАРТИИ ПРОДУКЦИИ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА

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

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kulakov-ais@mail.ru

Аннотация. Рассматриваемая задача многовариантного оценивания нормативной длительности изготовления конкретной партии стальной проволоки состоит в определении, для каждой производственной ситуации, оптимальной длительности операций требуемых для выпуска данной партии. Для ее решения построены модели производственных процессов, выполняемых в каждом отделении сталепроволочного комплекса, определен состав, продолжительность и условия выполнения операций. Указаны типы и количество применяемого оборудования в каждом отделении. Установлен характер и вид движения полуфабрикатов (изделий). Заданы средства перемещения изделий. Учтены виды применяемых поточных линий (непрерывная, полунепрерывная, дискретная). Все перечисленное отражено в представленном многоконтурном алгоритме, апробация которого выполнена методом моделирования с использованием натуральных данных действующего предприятия.

Ключевые слова: длительность изготовления партий продукции, ситуационно-нормативные модели, многоконтурный алгоритм, ситуационное оценивание.

Abstract. The considered problem of multivariate estimation of the normative duration of production of a specific batch of steel wire is to determine, for each production situation, the optimal duration of operations required for the production of a given batch. To solve it, models of production processes were built, performed in each department of the steel wire complex, the composition, duration and conditions of operations were determined. The types and quantities of equipment used in each department are indicated. The nature and type of movement of semi-finished products (products) has been established. The means for moving products are specified. The types of used production lines (continuous, semicontinuous, discrete) are taken into account. All of the above is reflected in the presented multi-loop algorithm, which was tested by the modeling method using field data of the operating enterprise.

Keywords: duration of production of batches of products, situational and normative models, multi-loop algorithm, situational assessment.

Введение

В предыдущей статье авторов* рассмотрена задача формирования ситуационных нормативных моделей тактов работы оборудования в сталепроволочном комплексе, сложного по составу функционирования и неоднородности технологических процессов (дискретных, непрерывных, полунепрерывных) внутри отделений и гибкими связями между отделениями, что требует создания буферных (накопительных) устройств для бесперебойной работы всей системы с целью прогнозирования длительности выполнения заказов [1 – 4]. Обоснован выбор ведущего звена – отделения грубого волочения, от работы которого зависят предыдущие и последующие отделения (необходимое количество

* Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. Разработка нормативных моделей тактов работы оборудования сталепроволочного комплекса.

оборудования, технологических линий, временные характеристики производственных операций и процессов).

Этапы формирования исходных данных

Рассматривается процедура многовариантного определения нормативной длительности изготовления стальной проволоки на примере конкретного заказа (маршрут № 5): продукция – омедненная стальная проволока диаметром $d_1^* = 2,0$ мм в мотках; масса мотка $g_1^* = 20$ кг; ГОСТ 2246-70; марка стали Св-08; масса заказа (партия отгрузки β_3); $G_{\beta_3}^* = 64$ т; доставка – в железнодорожных вагонах.

Первоначально в процедуре выполняются следующие подготовительные действия:

1. Выбор технологического маршрута по отделениям сталепроволочного комплекса, а также последовательности основных производственных операций и агрегатов в отделениях, рисунок 1 а.

2. Планирование процесса изготовления полуфабрикатов и использования соответствующих им агрегатов в каждом отделении, начиная от заданных параметров мотка готовой проволоки (по принципу «против хода технологического маршрута»).

2.1 Выбор видов входных и выходных полуфабрикатов для основных агрегатов отделений, начиная с готовой омедненной проволоки в мотках, рисунок 1 б.

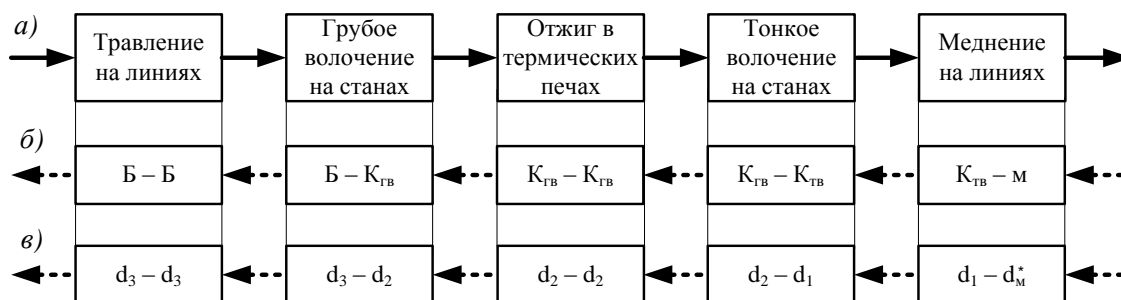


Рисунок 1 – Последовательность выполнения подготовительных действий:

а) основных технологических операций и агрегатов; б) видов выходных и входных полуфабрикатов; в) диаметров проволоки на выходе и входе агрегатов

2.2 Выбор типов станов тонкого и грубого волочения для выполнения заказа с учетом их количества, специализации по виду выпускаемого полуфабриката, весу и диапазону диаметров проволоки, включая:

- станы тонкого волочения 7/350, работающие «с катушки на катушку» ($K_{ГВ} - K_{ГВ}$);
- станы грубого волочения, 2/550 или 3/550, работающие «с бунта на катушку» ($Б - K_{ГВ}$).

3. Конкретизация диаметров заготовочной проволоки на входе и на выходе агрегатов, начиная с диаметра d_M^* готовой проволоки, рисунок 1 в.

4. Определение количества готовых изделий (мотков проволоки) в заказе:

$$\theta_{\text{м},\beta_3}^* = G_{\beta_3}^* : g_{\text{м}}^* \quad (1)$$

5. Расчет количества полуфабрикатов – «катушек» вида $K_{ГВ}$, $K_{ГВ}$, соответствующего заказу для отделений:

– тонкого волочения
$$\theta_{\text{к}}^{\text{ГВ}} = \frac{G_{\beta_3}^* \cdot h_2}{g^{\text{к}} \cdot h_1}, \quad (2)$$

– грубого волочения
$$\theta_{\text{к}}^{\text{ГВ}} = \frac{G_{\beta_3}^* \cdot h_3}{g^{\text{к}} \cdot h_2}, \quad (3)$$

где h_1 , h_2 , h_3 – расходные коэффициенты металла для линии меднения, станов тонкого и грубого волочения т/т.

Алгоритм оценивания длительности изготовления партии стальной проволоки

Алгоритм определения длительности изготовления партии стальной проволоки (рисунок 2) синтезирован на основе взаимосвязанных контуров (циклов), из которых главными являются два контура моделирования производственного комплекса, начиная с отделения грубого волочения. Первый осуществляет моделирование длительности операций для различного количества волочильных станов (блоки 4 – 57), второй – путем перебора скоростных режимов волочения (блоки 5 – 56). Другие контуры являются локальными и входят в состав главных контуров. В них реализуется перебор ситуаций, отличающихся скоростными режимами работы станов тонкого волочения (блоки 7 – 21), скоростью процессов меднения (блоки 13 – 20), концентрацией травильных растворов (блоки 22 – 27).

Локальный контур моделирования процесса тонкого волочения определяет: ситуационные штучные такты работы станов тонкого волочения, необходимое количество станов (для заданного количества и скоростных режимов станов грубого волочения), выполнение ограничения на количество имеющихся в наличии станов тонкого волочения. Локальный контур моделирования процесса меднения определяет: ситуационные штучные такты, необходимое количество нитей меднения (для заданного количества и скорости работы станов тонкого волочения), выполнение ограничения на количество нитей. Локальный контур моделирования работы травильного отделения определяет: ситуационные штучные такты подсистемы «ванна – кран», необходимое количество ванн (для заданного количества и скорости работы станов грубого волочения), выполнение ограничения на количество имеющихся в наличии травильных ванн. Необходимое количество термических печей, соответствующее заданному количеству и скорости станов грубого волочения, определяется в блоках 28 – 31.

Ситуационные многофакторные модели длительности производственных процессов в подразделениях используются в следующих алгоритмических блоках: на участке грубого волочения (блоки 32 – 37), в травильном отделении (блоки 38 – 39), в термическом отделении (блоки 41 – 44), на участке тонкого волочения (блоки 45 – 47), в отделении меднения (блоки 48 – 51). Модели длительности производственных процессов на складах катанки и готовой продукции представлены в блоках 52, 53.

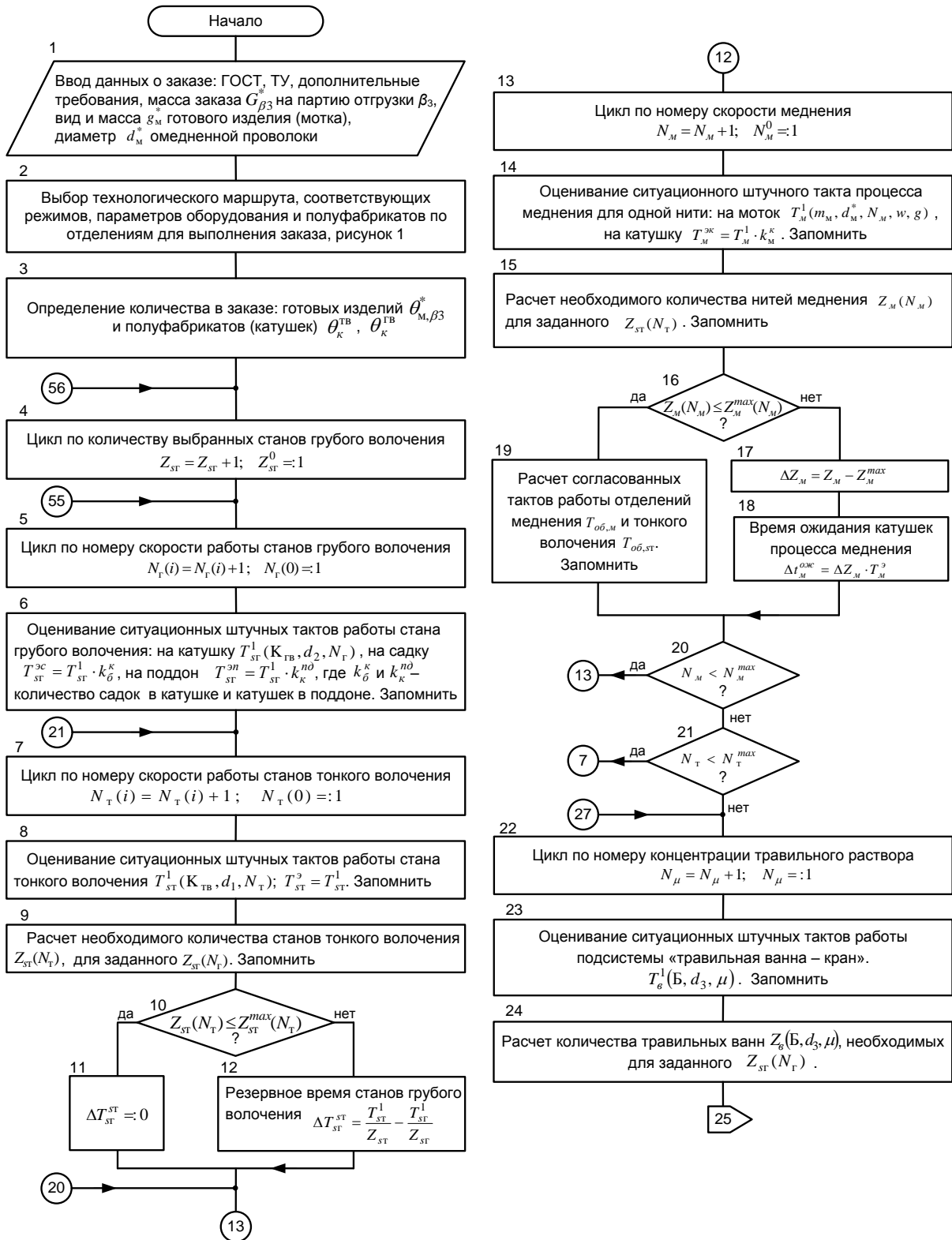
Оценивание ситуационной длительности изготовления партии продукции на заказ осуществляется в блоке 54 с учетом результатов многофакторного моделирования согласованной работы предшествующих и последующих отделений по отношению к ведущему отделению грубого волочения, изменение параметров которого определяют начало и окончание двух главных контуров алгоритма.

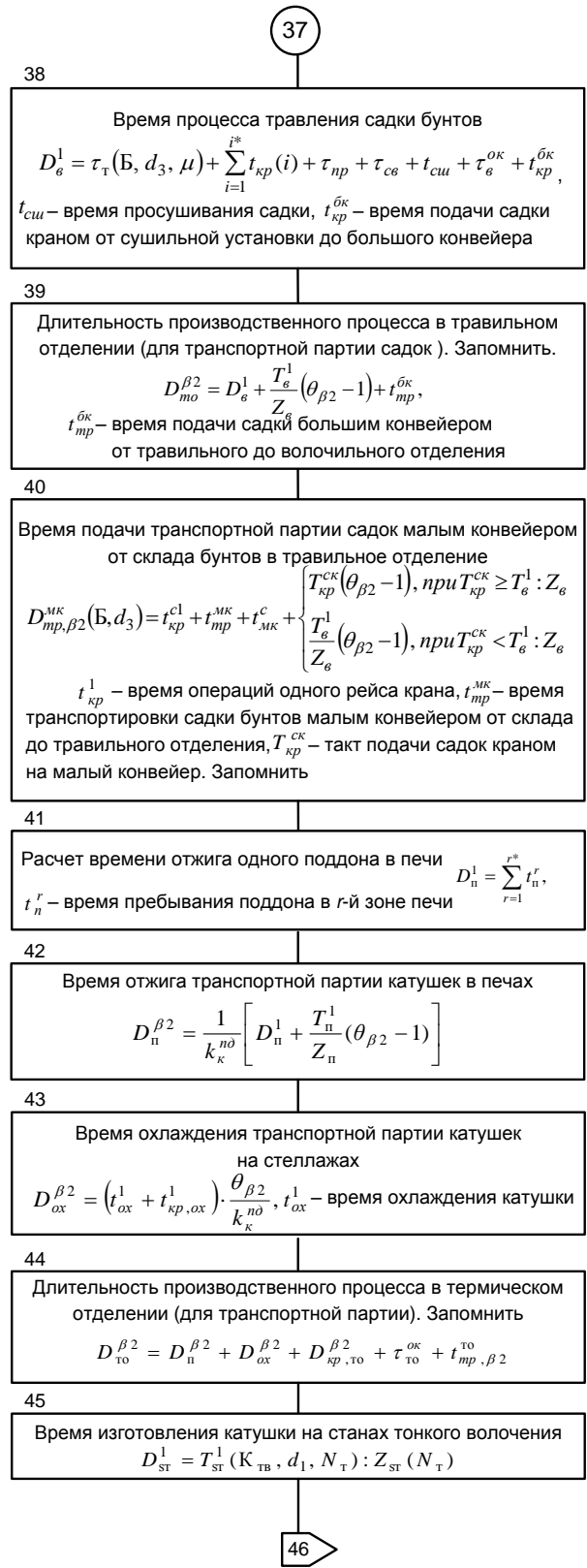
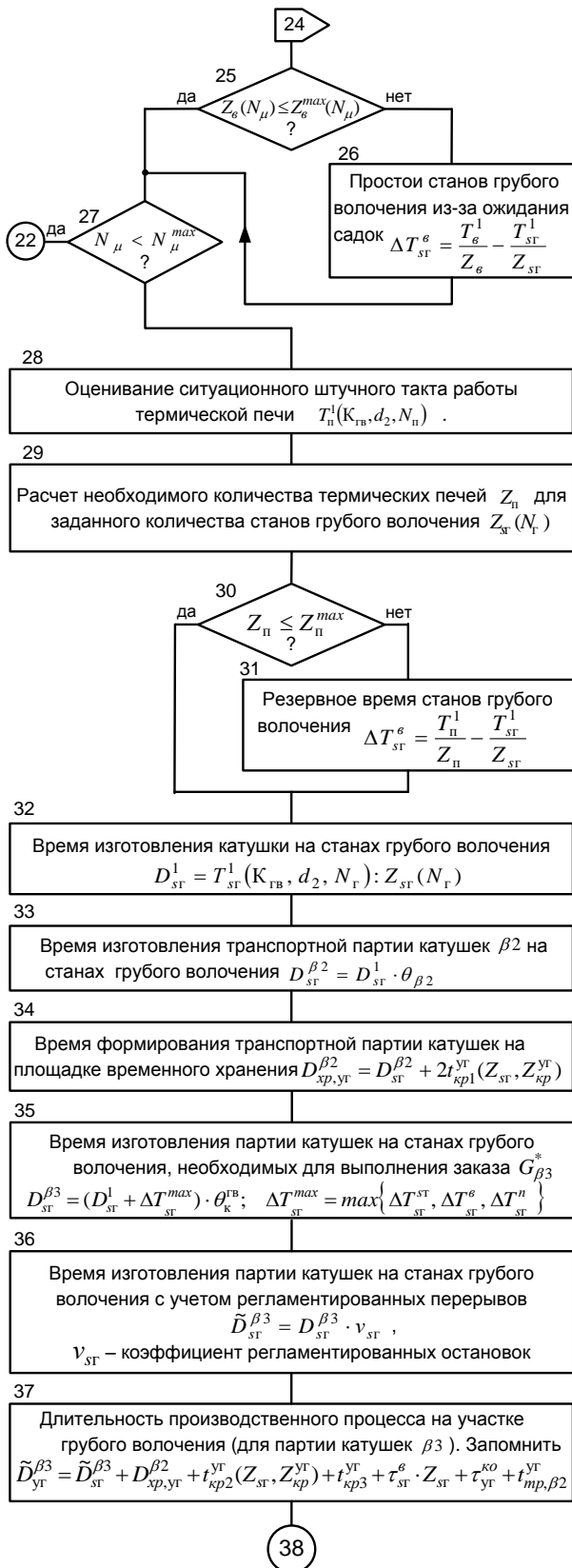
Результатом циклической процедуры формирования многовариантной длительности изготовления партии продукции является соответствующая ситуационная матрица (блок 57), позволяющая анализировать, прогнозировать и выбирать из множества представленных значений рациональный вариант сроков выполнения конкретного заказа в зависимости от сложившихся производственных условий, количества и масштаба заказов по различным технологическим маршрутам.

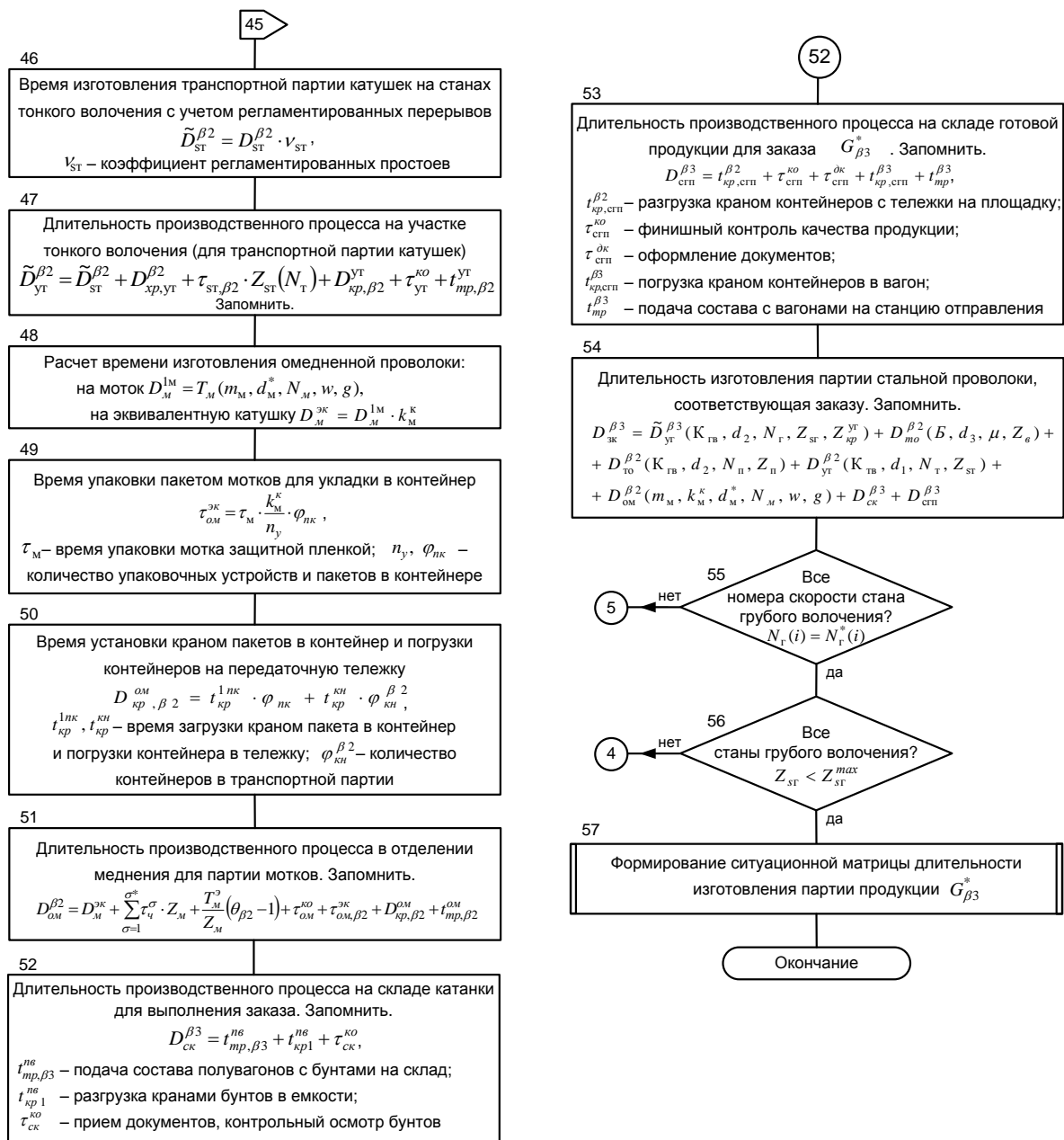
Методика построения представленного алгоритма оценивания длительности изготовления партии продукции (рисунок 2) имеет следующие особенности:

- использование многоуровневой декомпозиции сложного процесса производства сталепроволочных изделий [5];
- учет параллельно-последовательной работы производственных отделений, участков и транспортных средств [6 – 8];
- учет сочетания непрерывных и дискретных процессов в отделениях;
- учет наличия специализированных средств хранения и транспортировки полуфабрикатов, изделий;

- применение многофакторных ситуационных тактовых моделей нормативной длительности основных производственных процессов [9];
- выделение ведущего и подчиненных производственных подразделений;
- применение принципа встроенных алгоритмических циклов.







Условные обозначения: $t_{КР1}^{УГ}, t_{КР2}^{УГ}, t_{КР3}^{УГ}$ – время крановых операций на участке грубого волочения при подаче катушек на площадку хранения, размоточное устройство, передаточную тележку; $\tau_{\epsilon}^{OK}, \tau_{ТО}^{OK}, \tau_{УГ}^{KO}, \tau_{УГ}^{OK}, \tau_{OM}^{KO}$ – время осмотра и контроля на соответствующих участках (травления, термическом, грубого и тонкого волочения, меднения); $\tau_{ST}^{\beta}, \tau_{ST,\beta 2}$ – время подготовки проволоки к станам грубого и тонкого волочения; β^2 – транспортная партия; $\theta_{\beta 2}$ – количество изделий в транспортной партии; $D_{КР,\beta 2}^{УГ}, D_{КР,ТО}^{\beta 2}$ – время крановых операций на участке тонкого волочения и термическом; $D_{XP,\beta 2}^{УГ}$ – время формирования партии на участке тонкого волочения; $t_{MP,\beta 2}^{УГ}, t_{MP,\beta 2}^{ТО}, t_{MP,\beta 2}^{УГ}, t_{MP,\beta 2}^{OM}$ – время транспортировки катушек до склада готовой продукции, до термической обработки, до тонкого волочения, до меднения

Рисунок 2 – Укрупненный алгоритм многовариантного оценивания длительности изготовления партии заказа на метизную продукцию

Для каждой партии заказов рассчитывалась технически возможная (расчетная) и нормативная длительность изготовления с учетом регламентированных текущих простоев и простоев во время планово-предупредительных ремонтов. Для оперативного планирования производственного процесса были рассчитаны длительности изготовления продукции на партии заказа с учетом режима работы сталепроволочного комплекса (в сутках две смены по 12 часов).

Например, длительность изготовления заказа (64 т) на омедненную проволоку в мотках по 20 кг, диаметром 2,0 мм (маршрут № 5). Проволока проходит пять стадий передела: травление, волочение катанки диаметром 6,5 мм в 4,0 мм на участке грубого волочения, отжиг в термоотделении, тонкое волочение проволоки диаметром 4,0 мм в диаметр 2,0 мм и меднение.

Результаты ситуационного моделирования алгоритма

На основе предлагаемой методики и ее апробации рассмотрено несколько производственных ситуаций выполнения заказа (64 т) на проволоку омедненную. В зависимости от сроков поставок заказ может быть выполнен от 6,9 сут (14 смен) до 11,4 сут (22,8 смены). Длительность производственного цикла изготовления омедненной проволоки включает затраты времени: на складе катанки (3,2 ч), в травильном отделении (2,4 ч), на участке грубого волочения (от 3 до 5 сут), в отделении термообработки (14,44 ч), на участке тонкого волочения (от 19,1 до 28,8 ч), в отделении меднения (от 3 до 4,5 сут); на складе готовой продукции, оформление документов и погрузка в крытый вагон, (1,6 часа). Многовариантное моделирование производственных ситуаций дает возможность прогнозировать количество работающего оборудования в каждом из перечисленных подразделений комплекса.

При выполнении конкретного заказа на омедненную проволоку предлагается три варианта организации производственного процесса. В первом варианте следует использовать на участке грубого волочения станы 3/550 на второй скорости, тогда сократится пролеживание полуфабрикатов в буферном запасе. Однако производственные мощности будут использоваться не в полную силу, что приведет к снижению производительности стана и перерасходу электроэнергии. Во втором варианте предлагается работа волочильных станов 3/550 на третьей скорости, при этом производительность стана повысится на участке грубого волочения, тогда на участке тонкого волочения станы 7/350 будут сдерживающим звеном, что приведет к значительному скоплению полуфабрикатов (катушек) перед их обработкой. В третьем варианте предлагается одновременное выполнение нескольких заказов на стане 3/550. То есть, каждая шестая катушка будет изготовлена на четырех станах 7/350 ($K_{тв} - K_{тв}$), а остальные пять катушек (при условии имеющихся заказов) будут изготавливаться на станах других типов, относящихся к участкам среднего и тонкого волочения 1/550, 7/350 для изготовления мотков весом 60, 100 кг.

Расчеты длительности производственного процесса позволяют точно определить календарные сроки запуска и выпуска продукции, согласовать во времени загрузку оборудования, планы работы отделений и тем самым обеспечить бесперебойный и равномерный ход производственного процесса.

Выводы. Статья связана с решением ситуационной задачи определения нормативной длительности выполнения заказов на изготовление партий стальной проволоки. Представлено описание укрупненного алгоритма расчета длительности, который включает два главных и три локальных контура моделирования работы производственного комплекса. В этих контурах использованы многофакторные модели длительности производственных процессов, реализуемых в отделениях: грубого волочения, травильном, термическом, тонкого волочения, меднения. Апробация алгоритма выполнена на примере конкретных заказов на партию омедненной проволоки. По результатам моделирования рассмотрено несколько альтернативных вариантов организации производственного процесса, отображаемых лицу, принимающему решение. Предложенный метод алгоритмизации может быть использован на других производственных комплексах различных отраслей

промышленности.

Библиографический список

1. Malindžák D. Application of logistic principles in metallurgical production // *Metallurgija* 51 (2012) 3, pp. 345 – 348.
2. Korytkowski P. Optimization of production capacity in intangible flow production systems // *IFAC*. 2006. pp. 1 – 6.
3. Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Рубин Г.Ш., Гунн Г.С., Дья Х. Применение модели и принципов технологической адаптации показателей качества в процессах производства метизного производства // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2016. № 1. С. 101 – 108.
4. Мачулин В.С., Сидорчук В.Е., Астратов С.Н., Ким Ю.Б., Любанова Н.Г. Контролинг в метизном производстве РУП «БМЗ» // *Литье и металлургия*. 2011. № 2. С. 115 – 123.
5. Wiśniewski P. Decomposition of business process models into reusable sub-diagrams // *ITM Web of Conferences* 15, 01002 (2017). pp. 1 – 8.
6. Михайлова Л.В., Парамонов Ф.И., Чудин А.В. Формирование и оперативное управление производственными системами на базе поточно-группового производства в автоматизированном режиме. – М.: ИТЦ МАТИ, 2002. – 60 с.
7. Мокеева Н.С., Заев В.А., Сенникова Е.В. Пути сокращения длительности производственного цикла в условиях гибкого раскройного производства // *Изв. вузов. Северо-кавказский регион*. 2008. № 5. С. 104 – 106.
8. Благих И.А., Сальников Д.Ю. Управление производственным циклом предприятия (организации) // *Проблемы современной экономики*. 2010. № 4 (36). С. 1 – 7.
9. Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. Нормативное моделирование производительности комплекса меднения стальной проволоки // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2018. Том 61. № 2. С. 164 – 167.

РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ТАКТОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Кемеровская обл., kulakov-ais@mail.ru*

Аннотация: Работа основана на тактовом подходе и включает: построение факторной модели штучного ситуационного такта работы волочильного стана s-го типа, подсистемы «травильная ванна – кран», термической печи, линии меднения. Для обеспечения согласованной работы отделения грубого волочения с другими отделениями определено соответствующее количество оборудования травильного, термического, тонкого волочения, меднения. Сформированы модели взаимосвязанных партионных тактов работы предшествующих и последующих отделений (по отношению к отделению грубого волочения). Степень согласованности работы определялась на основе сравнения партионных тактов работы оборудования и транспортных средств на входе и выходе каждого отделения. Для этого предварительно построены нормативные модели тактов работы транспортных средств.

Ключевые слова: технологические маршруты, волочильные станы, ситуационно-нормативные модели тактов, модели оценки необходимого количества оборудования.

Abstract. The work is based on the clock approach and includes: the construction of a factor model of the piece situational clock of the drawing mill of the s-type, the subsystem "pickling bath - tap", thermal furnace, copper plating line. To ensure the coordinated operation of the coarse drawing department with other departments, an appropriate amount of etching, thermal, fine drawing, copper plating equipment has been determined. Models of interrelated batch cycles of the work of the preceding and subsequent departments (in relation to the rough drawing department) are formed. The degree of consistency of work was determined based on a comparison of batch cycles of equipment and vehicles at the entrance and exit of each department. For this purpose, normative models

of vehicle operation cycles have been pre-constructed.

Keywords: technological routes, drawing mills, situational and normative models of cycles, models for estimating the required amount of equipment.

Введение

В настоящее время актуальной задачей в планировании и оперативном управлении производством является создание информационно-нормативной базы показателей, характеризующих организационно-логистический уровень функционирования производственной системы [1, 2]. Эффективность применения многовариантной нормативной базы достигается путем разработки оптимальных норм и нормативов, таких показателей как: длительности операций, такты и циклы работы оборудования, производительность, трудоемкость продукции, длительность изготовления единицы продукции и выполнения заказов потребителей [3 – 5]. При этом необходимо учитывать возникающие характерные производственные ситуации (изменение номенклатуры и ассортимента продукции, количества поступающих заказов, объема производства, технического состояния оборудования, технологических режимов, квалификационного уровня персонала, наличие «узких мест» в производственном потоке и др.).

Разработанные авторами ситуационно-нормативные модели длительности производственных процессов позволяют обоснованно планировать и четко координировать оперативную работу каждого подразделения и всей производственной системы [6 – 8].

Описание объекта исследования

На примере метизного производства металлургического предприятия рассмотрена задача построения интегрированной ситуационно-нормативной модели длительности изготовления партий готовой продукции соответствующих заказам потребителей. В качестве объекта исследования выбран сталепроволочный комплекс метизного производства, представляющий собой многоструктурную систему, которая включает несколько самостоятельных технологических подразделений, связанных между собой материальными потоками единого производственного процесса, ориентированного на изготовление проволоки диаметром 0,8 – 9,0 мм в виде мотков весом от 20 до 1500 кг по ГОСТам и техническим условиям (ТУ) (рисунок 1).

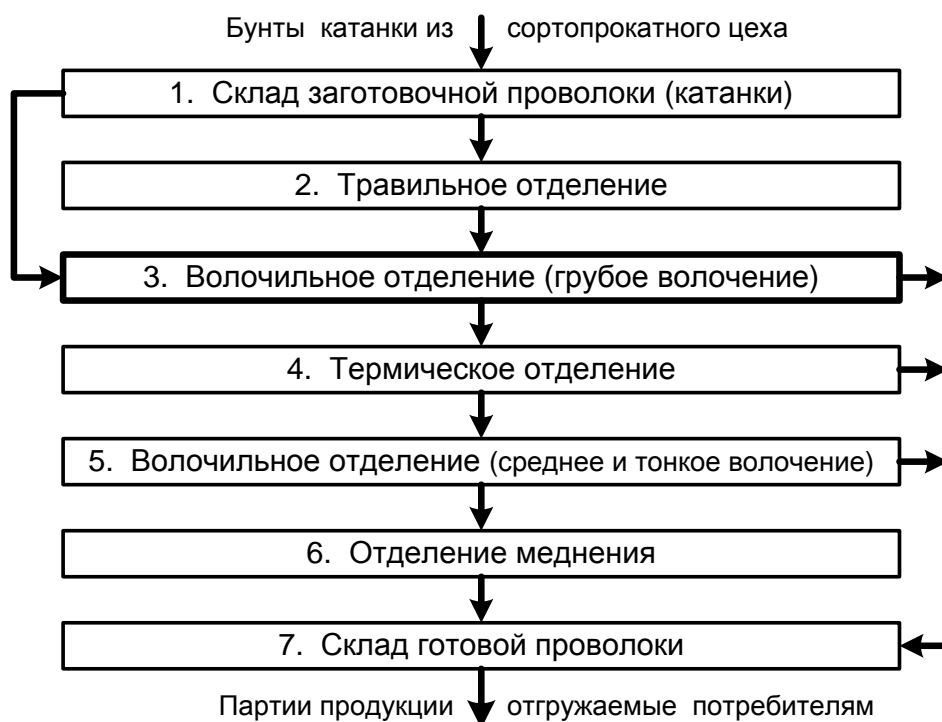


Рисунок 1 – Схема технологических маршрутов сталепроволочного комплекса

Бунты заготовочной проволоки (катанки) поступают на склад сталепроволочного комплекса из сортопрокатного цеха в железнодорожных полувагонах, которые разгружаются электромостовыми кранами в специальные корзины. Затем, по мере необходимости, из бунтов формируются партии («садки»), которые передаются малым штанговым конвейером в травильное отделение (для удаления окалина с поверхности катанки химическим способом) или большим конвейером – в отделение грубого волочения, к установкам для удаления окалина механическим способом. После травления бунты поступают по конвейеру в отделение грубого волочения, где установлено множество заготовительных станков, отличающихся по кратности процесса волочения (от одного до шести), по диаметру чистового (последнего) барабана (750, 650, 550 мм), по конструкции размоточного и намочного устройств, по виду размотки заготовочной проволоки (бунт) и намотки полученной проволоки (моток, катушка), по весу единичной продукции (изделия), а также по диаметрам обработанной проволоки (таблица 1).

В соответствии с технологическими маршрутами, определяемыми ГОСТами, ТУ и требованиями заказчиков, из отделения грубого волочения одна часть изделий направляется на склад готовой продукции (мотки проволоки диаметром от 9,0 до 2,5 мм и весом от 1500 до 100 кг), маршрут № 1. Другая часть передается в термическое отделение, для отжига мотков и катушек в роликовых печах, которые затем направляются либо на склад готовой продукции, маршрут № 2, либо катушки поступают в отделение среднего волочения, где подвергаются дальнейшему процессу волочения на станах типа 1/550, 6/550, 7/550 для получения проволоки меньших диаметров (2,5 – 1,8 мм), весом мотков 100 кг и передаются на склад готовой продукции, маршрут № 3.

Таблица – Специализация волочильных станков по отделениям

Тип стана	Виды размотки и намотки проволоки*	Масса изделия, кг	Количество станков, шт.	Диапазон диаметров, мм
1. Станы в отделении грубого волочения				
1/750	Б → М	150, 200, 250	1	10,0 – 5,0
1/650	Б → М	100	2	9,0 – 5,0
	Б → БМ	1000	2	9,2 – 4,0
2/550	Б → М	1000	8	6,3 – 4,0
	Б → К	1000	3	5,7 – 4,0
3/550	Б → БМ	1500	7	5,5 – 3,5
	Б → К	1000	2	5,5 – 3,5
4/550	Б → БМ	1500	2	4,6 – 3,0
	Б → К	1000	1	4,6 – 3,0
5/550	Б → БМ	1000	1	4,0 – 2,5
	Б → К	1500	1	4,0 – 3,0
6/550	Б → БМ	1000	2	4,0 – 1,8
	Б → К	1000	2	4,0 – 2,0
2. Станы в отделении среднего волочения				
1/550	К → М	100	4	5,5 – 1,6
6/550	К → М	100	2	2,7 – 1,8
7/550	К → М	100	2	2,5 – 1,2
3. Станы в отделении тонкого волочения				
7/350	К → М	60	16	2,0 – 0,8
	К → К	1000	4	2,0 – 0,9
* П р и м е ч а н и е. Б – бунт заготовочной проволоки, К – катушка с проволокой, М и БМ – мотки проволоки: малый и большой				

Часть катушек после отжига направляется в отделение тонкого (семикратного) волочения на станах типа 7/350 (см. таблицу), где производится проволока диаметром от 2,0 мм до 0,8 мм в мотках (60 кг) и отправляется на склад готовой продукции, маршрут № 4 или в катушках (1000 кг), поступающих в отделение меднения, для нанесения на поверхность проволоки слоя меди и формирования мотков весом до 20 кг, маршрут № 5, кото-

рые затем передаются на склад готовой продукции. На складе осуществляется финишный контроль качества всех изделий на соответствие ГОСТам и ТУ, оформляется документация, формируются партии отгрузки продукции по заказам потребителей.

Следует отметить, что связь между отделениями на данном производстве полужесткая, отличающаяся наличием буферных (накопительных) устройств в виде: конвейера в травильном отделении, конвейера и площадки временного складирования в отделении грубого волочения, площадок временного складирования в термическом отделении, в отделении тонкого волочения и меднения. Поэтому для выполнения заказов по каждому маршруту в конкретных производственных условиях необходимо учитывать межоперационные заделы, предотвращающие простои оборудования по техническим, технологическим и организационным причинам.

Этапы оценивания нормативной длительности изготовления партий продукции

Для расчета нормативной длительности изготовления партии продукции выделены исследуемые производственные отделения и участки комплекса, определены технологические маршруты, составленные с учетом технических условий и требований ГОСТов на готовую проволоку. На основе ретроспективного анализа и отбора наиболее часто встречающихся заказов выбраны характерные партии с учетом количества и грузоподъемности транспортных средств. Выбраны партии прибытия бунтов на склад катанки из мелкосортного цеха с учетом периодичности поступления, количества и грузоподъемности полувагонов.

Предлагаемая процедура многовариантного оценивания нормативной длительности изготовления партий продукции основана на использовании интегрированных моделей, создание которых включает следующие этапы:

- подготовка исходной информации на основе изучения проектной, нормативной, технической и отчетной документации; классификация режимов работы оборудования; анализ организации производственного процесса в каждом отделении комплекса;

- разработка графических моделей процессов, отображающих последовательность производственных операций и их декомпозицию на элементы и микроэлементы для каждого отделения на основе проведения визуальных наблюдений и данных, полученных при выполнении предыдущего этапа;

- построение табличных моделей производственных операций и их элементов для каждого отделения, включающих: наименование операций (элементов), пространственные координаты фиксажных точек, соответствующих моментам начала и окончания операций (элементов), наименование используемого оборудования, видов операций (машинные, ручные, машинно-ручные), классов операций (технологические, транспортные, естественные, контрольные), единиц обрабатываемых изделий (бунт, садка, моток, катушка, партия);

- разработка нормативных моделей длительности операций на основе комплексирования разных методов исследования (декомпозиция операций на элементы, обработка данных натурных наблюдений, построение формульных моделей длительности элементов операций) с учетом сортамента продукции (диаметров готовой проволоки), технических и технологических параметров работы оборудования;

- определение ситуационно-нормативных тактов (штучных и партийных) работы оборудования, технологических линий и отделений;

- построение ситуационно-нормативных моделей длительности производственных процессов на базе нормативных моделей длительности операций, с учетом скоростных режимов, количества параллельно работающего оборудования, технологических маршрутов в каждом отделении;

- формирование многовариантной нормативной модели длительности изготовления партии готовой продукции для каждого технологического маршрута (с учетом вышеперечисленных факторов и производственных ситуаций).

Методики моделирования нормативной длительности производственных операций

в отделениях, основанные на тактовом подходе, изложены в работах [6–8].

Для построения комплексных нормативных моделей длительности изготовления партии продукции по технологическим маршрутам были исследованы виды и характер организации материальных потоков в отделениях сталепроволочного комплекса, а также пространственно-временной характер движения элементов материальных потоков (полуфабрикатов, изделий) между смежными операциями производственного процесса (последовательный, параллельный, параллельно-последовательный). Структурная организация материальных потоков в процессе производства является одним из сложных аспектов построения маршрутных моделей длительности изготовления партий готовой продукции [9].

Чтобы определить длительность изготовления конкретной партии продукции необходимо задать: технологию процесса обработки изделия; состав, продолжительность и условия выполнения технологических, естественных, трудовых, контрольных и транспортных операций; типы и количество применяемого оборудования; вид единицы материального потока (бунт, моток, катушка); характер и вид движения полуфабрикатов (изделий) по операциям процесса; способ их перемещения с каждой предыдущей операции процесса на каждую последующую (штучный, пакетный, партионный); количество входных пакетов и партий; вид поточной линии (непрерывная, полунепрерывная, дискретная).

Характер движения полуфабрикатов в каждом отделении устанавливался для отдельных единиц (штук) и для партий. В зависимости от этого классифицировались виды организации материальных потоков. Например, в травильном отделении при работе одной технологической линии, а в ней – одной травильной ванны, вид потока – последовательный. Если количество работающих технологических линий больше единицы и количество работающих травильных ванн в каждой линии также больше единицы, то вид потока – параллельно-последовательный. В волочильном отделении при работе одного стана изготовление одного изделия или партии изделий происходит последовательно, а изготовление партии изделий одновременно на нескольких однотипных станах – параллельно.

Системный анализ организации функционирования сталепроволочного комплекса выявил, что ведущим является отделение грубого волочения (исходя из объема формоизменения заготовочной проволоки, степени влияния на работу других отделений и включения во все технологические маршруты) (рисунок 1). Поэтому расчеты длительности изготовления партии продукции начинались с отделения грубого волочения.

Длительность производственного процесса в отделении грубого волочения включает продолжительность следующих операций: транспортировка бунтов катанки (садки) из травильного в отделение грубого волочения, подача садки краном на размоточное устройство, волочение проволоки на стане, снятие готового изделия (полуфабриката) с намоточного устройства, подача краном изделий на площадку временного складирования, погрузка изделий краном на передаточную тележку.

С целью обеспечения сопоставимости тактов работы отделения грубого волочения и тактов работы других отделений введены элементы материальных потоков: штучные изделия (полуфабрикаты), партии штучных изделий.

В отделении грубого волочения, в зависимости от классификации станов (см. таблицу) и назначения продукции, штучным считается изделие (малый и большой моток) или полуфабрикат (катушка); в травильном отделении под штучным полуфабрикатом понимается садка – определенное количество бунтов катанки, размещаемое на крюке крана; в термическом отделении – количество полуфабрикатов, размещаемых на одном поддоне; в отделениях среднего, тонкого волочения и меднения – количество полуфабрикатов или готовых изделий, соответствующих (по весу) полуфабрикатам отделения грубого волочения.

Модель штучного ситуационного такта работы стана s -го типа грубого волочения на одно изделие (полуфабрикат) представлена на основе [6], формулой:

$$T_{st}^1(m_r, d, N_r) = t_m(m_r, d, s, N_r) + \sum_{n=1}^{n^*} \tau_n^n(m_r, d, s), \quad (1)$$

где $t_{.M}(m_{\Gamma}, d, s, N_{\Gamma})$ – машинное время волочения;

$\tau_{\chi}^n(m_{\Gamma}, d, s)$ – длительность выполнения рабочим-оператором n -ой ручной операции;

m_{Γ} – вид полуфабриката, $m_{\Gamma} \in [M, BM, K]$;

d – диаметр проволоки на выходе стана;

N_{Γ} – номер скорости волочения.

Модели ситуационных тактов работы оборудования и отделений

Модель штучного ситуационного такта работы подсистемы «травильная ванна – кран» (на одну садку) имеет вид:

$$T_{\epsilon}^1(m_c, d, \mu) = \tau_{\Gamma}(m_c, d, \mu) + \sum_{i=1}^{i^*} t_{\kappa\Gamma}^{\epsilon}(i) + \tau_{np} + \tau_{св} + t_{\kappa\Gamma}^{MK}, \quad (2)$$

где $\tau_{\Gamma}(m_c, d, \mu)$ – длительность травления садки $m_c \in [B]$ в ванне с раствором соляной кислоты;

μ – концентрация раствора кислоты;

$t_{\kappa\Gamma}^{\epsilon}(i)$ – длительности подачи садки краном от малого конвейера к травильной и далее – к другим ваннам, затем до сушильной установки;

τ_{np} – длительность каскадной промывки садки в трех ваннах с водой;

$\tau_{св}$ – длительность обработки садки в специальной ванне;

$t_{\kappa\Gamma}^{MK}$ – длительность переезда крана от сушильной установки до малого конвейера.

Модель штучного ситуационного такта работы термической печи с учетом количества изделий на одном поддоне, на основе [7], описывается формулой:

$$T_{\Pi}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Pi}) = \max\{T_{\Pi j}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Pi j}) \quad | j = 1, j^*\}, \quad (3)$$

где $T_{\Pi j}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Pi j})$ – такт работы j -ой зоны печи (для одного поддона);

$N_{\Pi j}$ – скоростной режим j -ой зоны печи.

Для приведения к сопоставимому виду тактов работы станом грубого волочения $T_{ст}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Gamma})$ с тактами работы оборудования травильного $T_{\epsilon}^1(m_c, d, \mu)$ и термического $T_{\Pi}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Pi})$ отделений, дополнительно определялись штучные эквивалентные такты на одну садку $T_{ст}^{эс}(m_c, d, N_{\Gamma})$, один поддон $T_{ст}^{эн}(m_{\Gamma}, d, N_{\Pi})$, соответствующие, по суммарному весу, полуфабрикатам (изделиям).

Структура модели штучного ситуационного такта работы стана s -го типа тонкого (среднего) волочения $T_{ст}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Gamma})$ на один полуфабрикат (катушку) или изделие (моток), аналогична модели (1), $m_{\Gamma} \in [K, M]$.

Штучный ситуационный такт процесса меднения для одной «нити» (проволоки) при изготовлении одного изделия (мотка) рассчитывался, на основе [8], по формуле:

$$T_{.M}^1(m_M, d, N_M, w, g) = t_{.Mn}(m_M, d, N_M, w, g) + \sum_{\alpha=1}^{\alpha^*} \tau_{\chi}^{\alpha}(m_M, d, g), \quad (4)$$

где $t_{.Mn}(m_M, d, N_M, w, g)$ – машинное время меднения (намотки проволоки в моток);

N_M – скоростной режим меднения; w – концентрация раствора медного купороса;

g – масса мотка омедненной проволоки;

$\tau_{\chi}^{\alpha}(m_M, d, g)$ – длительность выполнения ручных операций, $m_M \in [M]$.

Для приведения к сопоставимому виду моделей штучных тактов $T_{ст}^1(m_{\Gamma}, d, N_{\Gamma})$ и

$T_m^1(m_m, d, N_m, w, g)$ к тактам работы станков грубого волочения $T_{ст}^1(m_r, d, N_r)$ вычислялись эквивалентные штучные такты $T_{ст}^э(m_r, d, N_r)$ и $T_m^{эк}(m_r, d, N_m, w, g)$ на определенное количество k_m^k готовых мотков, которое, по весу, соответствует полуфабрикату (катушке).

Кроме штучных тактов работы оборудования каждого отделения определялись партионные такты для следующих видов партий: крановая (количество полуфабрикатов $\theta_{\beta 1}$, соответствующее грузоподъемности крана); транспортная – количество полуфабрикатов или изделий $\theta_{\beta 2}$, соответствующее грузоподъемности транспортного средства (конвейера, рельсовой тележки, электрокара) для передачи их между отделениями; партия отгрузки – количество готовых изделий $\theta_{\beta 3}$, одновременно отгружаемых потребителю.

В связи с партионной передачей полуфабрикатов между отделениями на специальных транспортных средствах, сочетанием дискретных и непрерывных производственных процессов, а также из-за влияния отказов оборудования (часто имеющих вероятностный характер) для достижения ритмичной работы отделений используются «буферные запасы» на площадках временного хранения полуфабрикатов. При этом важно определять и поддерживать минимально необходимые запасы на этих площадках, что обеспечиваются установлением нормативных объемов хранения с учетом особенностей функционирования основного оборудования в отделениях и производственных ситуаций.

В основу алгоритма многовариантного оценивания нормативной длительности изготовления партии продукции по каждому технологическому маршруту положены модели штучных и партионных тактов работы станков отделения грубого волочения (в зависимости от производственных условий), тактов работы оборудования предшествующих и последующих отделений, что важно для согласования их работы и накопления запаса полуфабрикатов на площадках временного хранения. Предварительно определялось количество необходимого оборудования в смежных отделениях (по отношению к главному).

Для предшествующего (травильного) отделения с учетом производственных условий в отделении грубого волочения необходимое количество основного оборудования (травильных ванн) вычислялось по соотношению:

$$Z_6(m_c, d, \mu) = \frac{T_{ст}^{эс}(m_c, d, N_r) : Z_{ст}}{\gamma_{6к} \cdot T_6^1(m_c, d, \mu)}, \quad (5)$$

где $Z_{ст} \in [1, 2, \dots, Z_{ст}^{max}]$ – заданное количество используемых станков s -го типа грубого волочения;

$\gamma_{6к}$ – коэффициент формирования запаса садок на передаточном конвейере;
 $\gamma_{6к} \in [0,6 \div 0,9]$.

Необходимое количество $Z_{п}, Z_{ст}$ оборудования для двух последующих, после грубого волочения отделений определялось в соответствии с выражениями:

а) для термического отделения:

$$Z_{п}(m_r, d, N_{п}) = \frac{\gamma_{п} \cdot T_{п}^1(m_r, d_3, N_{п})}{T_{ст}^{эн}(m_r, d, N_r) : Z_{ст}}, \text{ при } \gamma_{п} \cdot T_{п}^1 > T_{ок}^1, \quad (6)$$

где $\gamma_{п}$ – коэффициент формирования запаса полуфабрикатов на площадке термического отделения, $\gamma_{п} \in [0,5 \div 0,8]$;

$T_{ок}^1$ – штучный такт процесса охлаждения полуфабрикатов на стеллажах после отжига.

б) для отделения тонкого волочения:

- при выпуске проволоки в катушках:

$$Z_{ST}(m_T, d, N_T) = \frac{\gamma_{TK} \cdot T_{ST}^1(m_T, d, N_T)}{T_{ST}^1(m_T, d, N_T) : Z_{ST}}, \quad (7)$$

где γ_{TK} – коэффициент формирования запаса на площадке тонкого волочения,
 $\gamma_{TK} \in [0,6 \div 0,8]$;
 - при выпуске проволоки в мотках:

$$Z_{ST}(m_T, d, N_T) = \frac{\gamma_{TM} \cdot T_{ST}^{ЭК}(m_T, d, N_T)}{T_{ST}^1(m_T, d, N_T) : Z_{ST}}; \quad \gamma_{TM} \in [0,8 \div 0,9]. \quad (8)$$

Необходимое количество нитей линий меднения проволоки определялось с учетом наличия промежуточных площадок, которые демпфируют нестабильность работы станков грубого волочения. Поэтому достаточно согласовывать работу линий меднения со станками тонкого волочения:

$$Z_M(m_T, d, N_M, g) = \frac{T_M^3(m_T, d, N_M, g)}{\gamma_{TK} \cdot T_{ST}^1(m_T, d, N_T) : Z_{ST}}. \quad (9)$$

При вычислении Z_{θ} , Z_{Π} , Z_{ST} , Z_M осуществлялось округление результата до целых чисел по специальным правилам.

Модели согласованных партионных тактов работы предшествующих и последующих отделений (по отношению к станам грубого волочения) формировались с учетом количества необходимого оборудования по следующим формулам:

1) для травильного отделения:

$$T_{\theta\theta, \theta}(m_c, d, \mu) = \frac{T_{\theta}^1(m_c, d, \mu)}{Z_{\theta}(m_c, d, \mu)}, \quad (10)$$

2) для термического отделения:

$$T_{\theta\theta, \Pi}(m_T, d, N_{\Pi}) = \frac{T_{\Pi}^1(m_T, d, N_{\Pi})}{Z_{\Pi}(m_T, d, N_{\Pi})}, \quad (11)$$

3) для отделения тонкого волочения:

$$T_{\theta\theta, ST}(m_T, d, N_T) = \frac{T_{ST}^1(m_T, d, N_T)}{Z_{ST}(m_T, d, N_T)}; \quad (12)$$

4) для отделения меднения:

$$T_{\theta\theta, M}(m_T, d, N_M, g) = \frac{T_M^1(m_T, d, N_M, g)}{Z_M(m_T, d, N_M, g)}, \quad (13)$$

Для проверки возможности обеспечения бесперебойного функционирования основных агрегатов (оборудования) сравнивались в каждом отделении партионные такты работы оборудования $T_{\theta\theta}$ и такты работы транспортных средств $T_{\text{тр}}^{\text{ex}}$, $T_{\text{тр}}^{\text{вых}}$, используемых на входе (при подаче исходных полуфабрикатов) и выходе (при выдаче обработанных полуфабрикатов или изделий). Предварительно были построены модели партионных тактов работы транспортных средств: малого и большого конвейеров ($T_{\text{тр}, \beta 2}^{\text{МК}}$, $T_{\text{тр}, \beta 2}^{\text{БК}}$), передаточных тележек ($T_{\text{тр}, \beta 2}^{\text{мл}}$), электромостовых кранов ($T_{\text{тр}, \beta 2}^{\text{кр}}$), электрокаров ($T_{\text{тр}, \beta 2}^{\text{ЭК}}$).

Сравнение тактов осуществлялось попарно при условиях:

$$\text{если } T_{\text{тр}}^{\text{ex}} \cdot \theta_{\beta 2} < T_{\theta\theta} \cdot \theta_{\beta 2} \quad \text{и} \quad T_{\text{тр}}^{\text{вых}} \cdot \theta_{\beta 2} < T_{\theta\theta} \cdot \theta_{\beta 2},$$

то реализуется бесперебойная работа основных агрегатов;

$$\text{если } T_{mp}^{ex} \cdot \theta_{\beta 2} \geq T_{об} \cdot \theta_{\beta 2} \quad \text{и} \quad T_{mp}^{вых} \cdot \theta_{\beta 2} \geq T_{об} \cdot \theta_{\beta 2},$$

то требуются корректировки количества используемых транспортных средств – такие, чтобы выполнялись первые условия.

Выводы. Данная публикация связана с решением сложной задачи оценивания нормативной длительности выполнения заказов на изготовление партий стальной проволоки в рамках многоструктурного производственного комплекса, включающего ведущее отделение грубого волочения, а также смежные отделения: травильное, термическое, тонкого волочения, меднения. Предлагаемая процедура оценивания включает следующие основные этапы: описание и анализ действующей производственной системы; построение декомпозиционных моделей длительности операций, их элементов и процессов; формирование ситуационно-нормативных моделей штучных и партионных тактов работы оборудования и отделений комплекса; определение количества необходимого (для согласованной работы) оборудования в смежных отделениях по отношению к ведущему отделению. Перечисленные модели являются составной частью процедуры оценки длительности изготовления партий стальной проволоки.

Библиографический список

1. Dušan Malindzak, Andrzej Gazda. The principles and specifics of logistics of metallurgical production//Metal. 2011. №5. pp. 18 – 20.
2. Jelena R. Jovanovic, Dragan D. Milanovic, Radisav D. Manufacturing Cycle Time Analysis and Scheduling to Optimize Its Duration // Journal of Mechanical Engineering. 7 (2013). pp. 512 – 524.
3. Масло А.В. Анализ длительности производственного цикла упаковочной продукции // Известие вузов. Проблемы полиграфии и изд-го дела. 2009. № 4. С. 91 – 100.
4. Duan Gang, Chen Li, Li Yin-Zhen, Song Jie-Yan, and Akhtar Tanweer. Optimization on Production-Inventory Problem with Multistage and Varying Demand // Journal of Applied Mathematics. 2012. № 10. pp. 1 – 16.
5. Geraskin M.I., Egorova V.V. The algorithm for dynamic optimization of the production cycle in bearing industry // Information Technology and Nanotechnology. 2016. pp. 552 – 568.
6. Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. Ситуационные модели производительности человеко-машинных систем (на примере волочильных станков) // Изв. вузов. Черная металлургия. 2018. Том 65. № 6. С. 485 – 489.
7. Мусатова А.И., Кулаков С.М. Разработка нормативной модели функционирования термического отделения метизного производства // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 76 – 82.
8. Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. Нормативное моделирование производительности комплекса меднения стальной проволоки // Изв. вузов. Черная металлургия. 2018. Том 61. № 2. С. 164 – 167.
9. Васильев Г.Л., Ефимов Ю.В., Манаков А.А., Чамеев В.В. Математические модели формирования длительности цикла для станочного оборудования // Молодой ученый. 2015. № 13. С. 100 – 105.

РАЗРАБОТКА АСУТП НАГРЕВА ЗАГОТОВОК В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Сазонова Г.А., Темнохудов Д.Р., Куликов Е.С.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, gsazonova53@icloud.com, danil.temnokhudov00@mail.ru,
kulikov020400@mail.ru

Аннотация. В статье приведено описание автоматизированной системы управления технологическим процессом нагрева заготовок в нагревательных печах АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Система позволит регулировать температурный режим в методической печи с шагающими балками методом соотношения «газ-воздух», в которой будет предусмотрен контроль калорийности подаваемого смешанного газа с помощью поточного калориметра. Структура системы будет спроектирована на базе Industrial Revolution 4.0.

Ключевые слова: АСУТП, нагревательные печи, автоматический контроль, промышленная революция 4.0, методические печи.

Abstract. The article describes an automated control system for the technological process of heating workpieces in the heating furnaces of JSC "EVRAZ ZSMK". The system will allow to regulate the temperature regime in a methodical furnace with walking beams by the method of the "gas-air" ratio, in which the caloric content of the supplied mixed gas will be monitored using a flow calorimeter. The structure of the system will be designed on the basis of Industrial Revolution 4.0.

Keywords: automated control system, heating furnaces, automatic control, industrial revolution 4.0, methodical furnaces.

Целью создания системы управления нагревом заготовок в нагревательных печах является улучшение качества нагрева заготовок, экономия энергоресурсов за счет замены морально и физически устаревшего оборудования КИПиА, а также установки калориметра. Требуется разработать АСУТП нагрева заготовок в печах прокатных цехов. Так как модернизация печи планируется только на ближайшее будущее, то при разработке системы мы можем руководствоваться технологиями и основами новой промышленной революции.

Объектами автоматизации являются нагревательные печи: сортопрокатный цех, мелкосортный стан «250-1» печи 1,2, стан 250-1 пр. печи 1,2, стан 250-2 печь 2, стан 450 печи 1,2,3.

В настоящее время данные нагревательные печи отработали более 45 лет с одной модернизацией 10 лет назад. Была предложена типовая АСУ ТП нагрева заготовок, включающая в себя соотношение «газ-воздух» и контроль температуры заготовки на выходе пирометром.

В 2019 году было выяснено, что для поддержания стабильного температурного режима в нагревательных печах необходима стабилизация калорийности подаваемого газа (в соответствии с требованиями технологической инструкции калорийность газа для нагревательных печей СПЦ 2700 ± 100 ккал/м³) и стабильный состав газовой смеси (содержание природного газа в смеси не более 5%). Так же был проведен анализ параметров газовой смеси потребляемой нагревательными печами сортопрокатного цеха.

Анализ включал в себя наблюдение за изменением калорийности газа, наблюдение за изменением состава газовой смеси (изменением процентного состава, подаваемого на смешение доменного, коксового, природного газов), наблюдение за изменением температурного режима печи в зависимости от вышеприведенных факторов.

Наблюдения показали существенные колебания калорийности газовой смеси (до 400 ккал/м³ с превышением показателя 3000 ккал/м³) за короткий период времени (5-10 минут).

Перепады в калорийности и плотности газовой смеси, подаваемой на нагревательные печи прокатного производства вызваны изменением соотношения газов в смеси, что в свою очередь обусловлено отклонениями в объемах поступающего в систему коксового газа из-за особенностей технологического процесса коксового цеха: высокой потребностью в коксовом газе цехов комбината и, соответственно, компенсацией при необходимо-

сти, недостающих объемов добавлением в смесь природного газа. При подобных компенсирующих регулировках нивелируются резкие перепады калорийности, но происходит изменение плотности газовой смеси.

По результатам всего вышеперечисленного был предложен вариант закупки и установки калориметров перед нагревательными печами для проведения регулировки процесса сжигания. Однако, по экспертной оценке, специалистов фирмы «Даниэли», высказанной ими во время переговоров по строительству комбинированного стана, это дорогостоящая система, срок окупаемости которой сложно рассчитать.

Однако, при моделировании нагревательного процесса было принято решение все же устанавливать калориметры, а не газоанализаторы на содержание кислорода в продуктах сгорания по зонам печи для регулировки подачи воздуха на сжигание топлива в нагревательных печах.

В связи с этим требуется разработка нового проекта с установкой калориметров и заменой оборудования.

Целями создания новой системы является:

- автоматическое регулирование температурного режима в зонах печи (нагревательная и томильная);
- регулирование давления в зонах печи;
- контроль калорийности, подаваемой газовой смеси перед регулирующим органом с возможностью изменения расхода газа на зону;
- контроль температуры заготовки на выходе.

Предполагаются следующие технические решения:

1. Установка нового калориметра.
2. Замена устаревшей запорной арматуры.
3. Использование четвертой промышленной революции, а именно «интернета вещей», облачных вычислений и квантовых вычислений (вместо них можно воспользоваться изученными нейронными сетями).

Разрабатываемая структура может иметь двух- или трехуровневую систему:

Вариант 1 (рисунок 1).

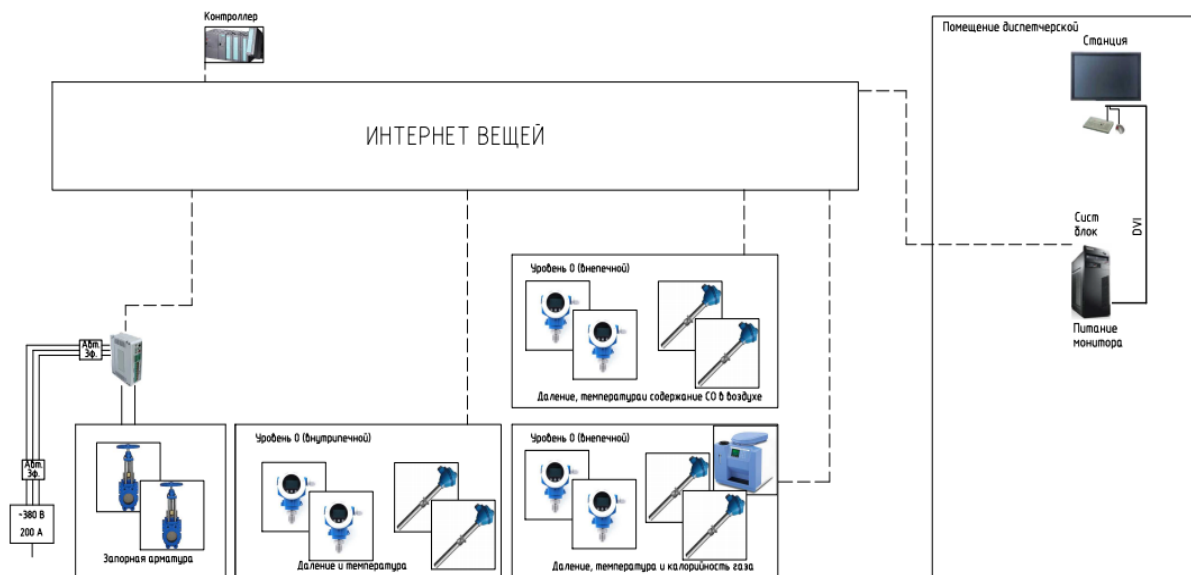


Рисунок 1 – Автоматизированная система управления нагревом заготовок с помощью интернета вещей

Уровень 0 – промышленная автоматика (драйверы, датчики). На этом уровне производится контроль необходимых параметров и регулирование соотношения

«топливо-воздух», так же регулирование давления в зонах печи за счет положения шиберов в дымовом борове.

Уровень 1 – «интернет вещей». Глобальная вычислительная сеть, объединяющая в себе различного рода физические объекты, способные взаимодействовать между собой и внешним миром.

Ключевая особенность – в сети будут участвовать не только компьютеры, смартфоны и иные достаточно мощные вычислительные устройства, а практически любые вещи.

Для связи электроники используются разные протоколы и технологии:

– Сетевое подключение. Классический способ для ПК, серверов, принтеров и некоторых других устройств. Обеспечивает самую высокую скорость передачи данных, но не позволяет технике быть мобильной.

– 3G/4G/5G. Зона покрытия мобильными сетями охватывает все крупные города планеты и большую часть других населенных пунктов. Например, 5G способна обеспечить скорость до 1-2 Гбит/с, что практически не уступает проводному соединению.

– Wi-Fi, Bluetooth, Wi-Max и аналоги. Передача данных на небольшом расстоянии — в квартире, доме, офисе. Позволяют мелкой технике беспроводным путем подключаться к сети.

– NFC, RFID и тому подобное. Radio Frequency Identification — автоматическая идентификация объектов. Данные, хранящиеся в RFID-метках, считываются или записываются посредством радиосигналов. Визуально метки выглядят как небольшие ярлычки, прикрепляемые к вещам.

– Спутниковый Интернет. С запуском сети Starlink и ее аналогов этот способ коммуникации вещей может стать одним из главных, особенно в удаленных регионах, где нет покрытия мобильной сети.

Одновременно с тем фактом, такие системы несут в себе значительную бизнес-ценность, интеллектуальные объекты также становятся уязвимы для киберпреступности, в результате которой может происходить утечка данных, в том числе и конфиденциальной информации. Несмотря на то, что поле работы с вопросом безопасности остается огромным, сейчас существуют решения, позволяющие осуществлять развертывание IoT более надежно. Например, для решения проблемы устаревания программного обеспечения устройств, есть возможности эффективных стратегий автоматического обновления.

Благодаря SOTA (Software Over the Air) «обновление по воздуху» и FOTA (Firmware Over the Air) — «прошивка по воздуху», программное обеспечение подключенных устройств и настройки можно обновлять с помощью беспроводной связи.

Функционирование будет происходить следующим образом: сигналы с датчиков поступают в сеть, далее это сигнал получает, к примеру, контроллер. Производиться вычисление и отправка регулирующего сигнала на запорную арматуру.

Вариант 2 (рисунок 2).

Уровень 0 – промышленная автоматика (драйверы, датчики). На этом уровне производится контроль необходимых параметров и регулирование соотношения «топливо-воздух», так же регулирование давления в зонах печи за счет положения шиберов в дымовом борове.

Уровень 1 – Облачные вычисления. Облачные вычисления — это предоставление вычислительных ресурсов через Интернет. Они обеспечивают экономию средств, масштабируемость, высокую производительность, снижение издержек при масштабировании и многое другое. То есть в нашей ситуации система будет работать следующим образом: сигналы с умных датчиков поступают в сеть, отправляются на облачные вычисления и результирующий сигнал поступает сразу на запорную арматуру.

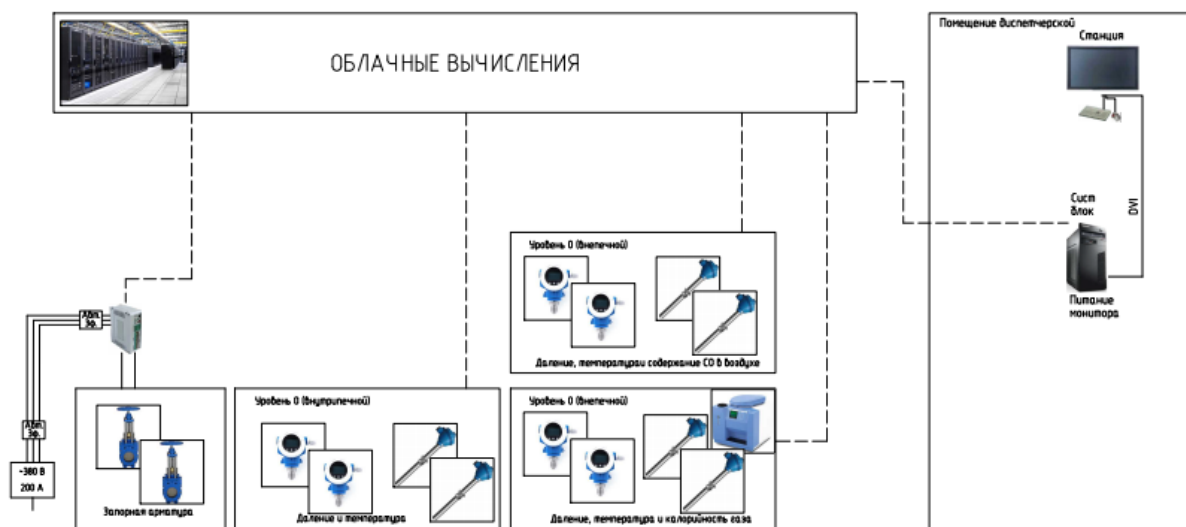


Рисунок 2 – Автоматизированная система управления нагревом заготовок с помощью облачных вычислений

Конечно, для такого рода систем все же необходимо присутствие человека. Но вся его работа будет заключаться только в периодическом наблюдении за показателями или на случай аварийных ситуаций. Да и промышленные приборы пока еще не умеют работать напрямую с сетью.

Разберем техническую сторону нашей системы.

В качестве датчиков у нас стоят термопреобразователи на 1300-1350 °С, стандартные ТХА, ТПП; измерительный преобразователь давления Sitrans; интеллектуальные датчики давления серии Метран-150; стандартный пирометр и другие. Помимо основных измерений производится контроль таких показателей как давление и температура в трубопроводах газа и воздуха, температура электроприводов, давление и температура в дымовом борове печи и другие, во избежание аварийных ситуаций.

Таким образом система позволит выполнять следующие функции:

- осуществление непрерывного измерения физических параметров с первичных преобразователей (температура, давление и расход);
- управление процессом нагрева заготовок металла в печах;
- управление отсечными клапанами в аварийных случаях;
- визуализация технологического процесса, формирование графиков, а также звуковой и световой сигнализации;
- ведение и представление технологическому и эксплуатационному персоналу протокола работы системы, действий технологического персонала, графиков технологических параметров, архивов информации;
- защита от несанкционированного доступа;
- сбор технологической и учетной информации, ее обработка и хранение в базах данных;
- предоставление технологической и учетной информации серверу технологической информации;
- формирование и автоматическая передача информации об отклонениях в работе оборудования в Service Desk.

Разработка АСУТП нагрева заготовок в нагревательных печах позволит:

- повысить качество нагрева металла за счет повышения класса точности приборов КИП и улучшения качества регулирования нагрева заготовок;
- повысить качество нагрева прокатываемого металла;
- снизить энергозатраты на нагрев заготовок в печах;

- повысить управляемость и прослеживаемость технологического процесса нагрева заготовок;
- получить данные по нагреву металла в нагревательных печах для систем уровня производства;
- получить экономический эффект.

Внедрение новых технологий и новой ИТ-концепции несет в себе риск конфиденциальности данных, но не одна система никогда не гарантировала 100% конфиденциальность хранимых данных.

Но вместо «публичного» можно использовать «частное» облако. Это безопасная ИТ-инфраструктура, контролируемая и эксплуатируемая в интересах одной-единственной организации. Организация может управлять частным облаком самостоятельно или поручить эту задачу внешнему подрядчику. Инфраструктура может размещаться либо в помещениях заказчика, либо у внешнего оператора, либо частично у заказчика и частично у оператора. Идеальный вариант частного облака — это облако, развернутое на территории организации, обслуживаемое и контролируемое ее сотрудниками.

Благодаря новым технологиям производство можно поднять на новый уровень, повысив тем самым надежность систем и качество выпускаемого продукта.

Библиографический список

1. Васильков, Ю. В. Математическое моделирование объектов и систем автоматического управления: учебное пособие / Ю. В. Васильков, Н. Н. Василькова. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. - 428 с. - ISBN 978-5-9729-0386-3. - Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/148320>.
2. Култыгин О. П. Применение облачных СУБД при проектировании информационных систем // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 2. С. 119–130.
3. Эффективность использования облачных вычислений: методы и модели оценки [Текст] = Methods and models for assessing the effectiveness of the use of cloud computing / К. В. Максимов // Прикладная информатика. - 2016.
4. Организация человеко-компьютерного взаимодействия в средах компьютерного моделирования на базе облачной инфраструктуры / С.В. Ковальчук [и др.] // Прикладная информатика / Journal of Applied Informatics .- 2012 .- №5 .- С. 89-102 .- URL: <https://rucont.ru/efd/453151>
5. К. С. Шатохин. Основы теории автоматического управления промышленными печами. М.:МИСиС, 2020.

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АНОДНОЙ МЕДИ

Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н.¹, Лаптева А.В.²

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

²Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия, annalapteva@mail.ru

Аннотация. Устройство производства анодной меди, содержащее ванну с расплавом, трубу для продувки расплава воздухом с отсекающим вентилем, дополнительную ванну, по два источника ЭДС по паре электродов, погруженных в ванну с эталонным расплавом, и в ванну с расплавом черной меди, микроконтроллер. Источники ЭДС и микровольтметр включены так, что обеспечивают измерение сопротивления расплавов в ваннах. По результатам измерений микроконтроллер, отсекает продувку воздухом.

Ключевые слова: черновая медь, расплав, ванна, микроконтроллер, микровольтметр

Abstract. *An anode copper production device containing a melt bath, a pipe for blowing the melt with air with a shut-off valve, an additional bath, two EMF sources each with a pair of electrodes immersed in a bath with a reference melt, and in a bath with a black copper melt, microcontroller. EMF sources and a microvoltmeter are included so that they measure the resistance of melts in the baths. According to the measurement results, the microcontroller cuts off the air purge.*

Keywords: *rough copper, melt, bath, microcontroller, microvoltmeter*

Описываемые элементы автоматизации предназначены для отсечки поступления воздуха для продувки расплава меди в процессе ее огневого рафинирования.

Известно устройство производства анодной меди с продувкой ванны расплавленной черновой меди воздухом с целью очистки этой меди путем окисления примесей и удаления их со шлаком или в атмосферу [1]. Необходимый объем воздуха для продувки рассчитывается по известным формулам [2]. Недостатком этого устройства является перерасход воздуха при продувке, так как в конце продувки расчетным объемом воздух содержание примесей не уменьшается – наступает динамическое равновесие. На практике момент окончания продувки воздухом определяется взятием проб расплава и ожиданием их застывания (медь недоокисленная, имеет на поверхности пробы характерную возвышенность, или "червяк", а готовность окисленной меди характеризуется появлением на поверхности пробы меди крупного рисунка с "утяжкой" в центре) [3]. В этом случае для точного определения времени отсечки подачи воздуха следует брать пробы чаще, однако время застывания определяет задержку в моменте отсечки воздуха и ведет к перерасходу воздуха. Кроме того, оценка пробы по рисунку зависит от степени опытности человека, анализирующего пробу.

Проблема состоит в неоптимальной продолжительности процесса продувки ванны с расплавом, т. е. недостаточно точном определении момента времени отсечки воздуха и наличия субъективного фактора.

Устройство автоматизации производства анодной меди, содержащее следующие компоненты: ванну с расплавом черновой меди, трубу, одним концом опущенную в ванну, для продувки расплава воздухом с отсекающим вентиляем, ванну с эталонным расплавом катодной меди, два источника ЭДС, два резистора, пару электродов, погруженные в ванну с эталонным расплавом, пару электродов, погруженных в ванну с расплавом черновой меди, две термопары. Микроконтроллер, источники ЭДС включены встречно объединением их выводов одной полярности и подключены к двум электродам, погруженные в ванны с разными расплавами, два свободных выхода источников ЭДС другой полярности подключены через резисторы к двум другим электродам, погруженным в ванны с разными расплавами, термопары, погружены по одной в каждую ванну и подключены к микроконтроллеру, микровольтметр, вход которого подключен к электродам, связанным с резисторами, а выход микровольтметра подключен к микроконтроллеру, выход микроконтроллера связан с вентиляем для отсечки продувки воздухом [4].

Схема устройства представлена на рис. 1. Оно включает: два источника стабильного напряжения 1 и 2; ванну с расплавом катодной меди 3; резисторы 4, 5; электроды 6, 7, 8, 9; ванну с расплавом черновой меди 10; термопары 11, 12; микровольтметр 13; микроконтроллер 14; трубу подачи воздуха 15 в ванну с расплавом черновой меди, отсекающий вентиляем 16. Источники ЭДС включены встречно объединением зажимов одной полярности. Эти зажимы подключены к двум электродам. Другие два свободных зажима другой полярности источников ЭДС подключены через резисторы к двум другим электродам. Электроды, подключенные к одному источнику ЭДС погружены в ванну с эталонным расплавом катодной меди, а электроды подключенные к другому источнику ЭДС погружены в расплав черновой меди. Две термопары, погруженные по одному в каждую ванну подключены к микроконтроллеру. Вход микровольтметра подключен к электродам, связанным с резисторами, а его выход подключен к микроконтроллеру. Выход микроконтроллера связан с вентиляем для отсечки продувки воздухом. Команда на отсечку подается после соответствующего вычисления по показаниям микровольтметра и термопар.

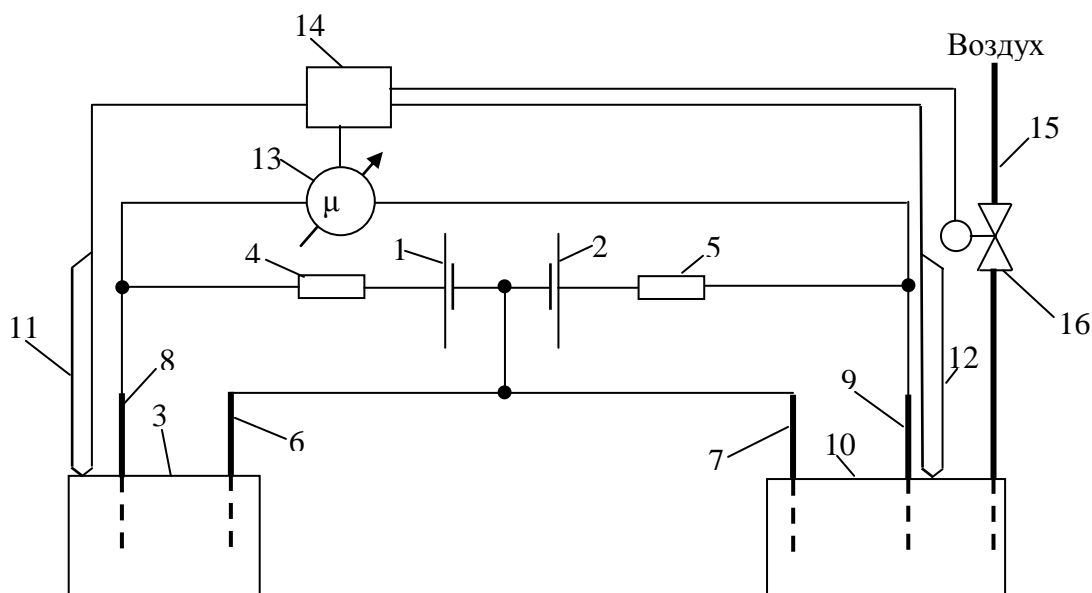


Рисунок 1 - Схема устройства

Устройство работает следующим образом. От источников ЭДС ток проходит через расплавы меди в ваннах. Ванну с черновой медью продувают воздухом, при этом примеси окисляются и переходят в шлак. Удельное сопротивление расплава черновой меди уменьшается, так как чем меньше примесей в меди, тем ниже ее удельное сопротивление [5 – 14]. Как следствие уменьшается падение напряжения между электродами, погруженными в ванну с расплавом черновой меди. Между электродами, погруженными в расплав катодной (чистой) меди напряжение не изменяется, так как ее удельное сопротивление неизменно при поддержании постоянной температуры. Микровольтметр измеряет разность напряжений между электродами, погруженными в названные ванны, что повышает точность измерений. Микропроцессор корректирует эту разность по показаниям термопар. При определенном значении этого напряжения или при определенной скорости его изменения микропроцессор закрывает вентиль 16 на трубе 15 подачи воздуха, отсекая его подачу и прекращая продувку расплава воздухом.

Технический результат базируется на эффекте зависимости электрического сопротивления расплава от примесей и температуры, что позволяет при протекании постоянного тока через эталонный и продуваемый расплавы зафиксировать момент наступления равенства падений напряжений между электродами с коррекцией на температуры расплавов и отсечь продувку.

Библиографический список

1. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М. : Металлургия, 1998. – 768 с.
2. Жуков В.П., Скопов Г.В., Холод С.И. Пирометаллургия меди. – Екатеринбург: УрО РАН, 2016. – 632 с.
3. Патент Российской Федерации № 1257112. Способ огневого рафинирования черновой меди / Зорий З. В., Калюта В. В., Хагажеев Д. Т. [и др.].
4. Патент Российской Федерации № 2745014. Устройство для производства анодной меди / Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Холод С.И., Лаптева А.В. [и др.].
5. Davenport W.G., King M., Schlesinger M., Biswas A.K. Extractive metallurgy of copper, fourth edition. – Oxford: Elsevier Sci. Ltd., 2002. – p.
6. Biswas A.K., Davenport W.G. Extractive metallurgy of copper. – Oxford: Pergamon, 1996. – p.
7. Gerlach J., and Herfort P. The Rate of Oxygen Uptake by Molten Copper // Metall. 1968. 22 (11). – P. 1068–1090.

8. Жуков В.П., Спитченко В. С., Новокрещенов С.А., Холод С.И. Рафинирование меди. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 317 с.
9. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. – Л.: Энергоатомиздат, 2000. – 304 с.
10. Рене В.Т. Электротехнические материалы. – Л.: , 1984. – с.
11. Корицкий Ю.В., Пасынков В. В., Тареева Б.М. Справочник по электротехническим материалам. – М.: Энергоатомиздат, в 3 т., 1986–1988. – с.
12. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
13. Вилсон Д.Р. Структура жидких металлов и сплавов / перевод с англ. Л.А. Коледова. – М.: Металлургия, 1972. – с.
14. Окадзаки К. Пособие по электротехническим материалам / Киеси Окадзаки; ред. Л.Р. Зайонца. – Пер. с яп. М.М. Богачихина, И.Б. Реута – М.: Энергия, 1979. – 432 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЗМОВ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОВОЗА КОКСОВОЙ БАТАРЕИ №1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Бабушкин С.В.¹, Клевцов С.А.²

¹АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,
Новокузнецк, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, simen727@mail.ru

Аннотация. В последние годы особо начинает проявляться проблема устаревания оборудования на промышленных предприятиях. Это приводит к потребности в своевременной диагностике агрегатов на производствах. В настоящий момент широко развиваются системы предиктивной аналитики и цифровизации промышленных комплексов. Но такие системы сложные, дорогие и требуют значительного времени на реализацию. В данной работе рассматривается актуальность создания «упрощенной» версии подобных систем, исследуя только факторы, влияющие на мгновенный выход из строя оборудования.

Ключевые слова: диагностика, предиктивная аналитика, цифровизация, коксохимическое производство.

Abstract. In recent years, the problem of equipment obsolescence at industrial enterprises has begun to manifest itself. This leads to the need for timely diagnostics of units in production. At the moment, systems of predictive analytics and digitalization of industrial complexes are being widely developed. But such systems are complex, expensive, and time-consuming to implement. This paper discusses the relevance of creating a "simplified" version of such systems, examining only the factors that affect the instantaneous failure of equipment.

Keywords: Diagnostics, predictive analytics, digitalization, coke-chemical production

Современные производства нацелены, в первую очередь, на получение прибыли. В этом вопросе не имеет значение размер или организационная структура юридического лица. Промышленные гиганты не исключение. Предприятие может увеличивать прибыль либо за счет повышения цены производимого продукта, либо за счет снижения затрат на производство этого продукта. И именно снижение этих затрат и приводят к тому, что большинство производств работают на морально устаревшем оборудовании, экономят на всяческих модернизациях и инновациях.

Оборудование промышленных предприятий зачастую работают безостановочно достаточно долгое время. Остановка таких механизмов требует тщательной подготовки, наличия резерва и если такого не имеется, то оперативного обслуживания или ремонта. В некоторых случаях, чтобы вывести агрегат в ремонт, даже монтируют временные аналогичные установки и по окончании ремонтных работ сносят их. Это подводит к проблеме

своевременности и полноты диагностики узлов и агрегатов. В настоящее время усиленно ведутся работы по разработке различных экспертных систем и систем предиктивной аналитики. Внедряются даже системы под управлением искусственного интеллекта, однако для этого нужно с нуля перестроить весь комплекс.

Согласно исследованиям PricewaterhouseCoopers, 88 % командиров промышленного бизнеса признают, что анализ больших данных станет критически важным конкурентным преимуществом уже в ближайшие несколько лет. Первый прорыв произошел в нейронауках и в математической химии. Исторически химико-технологическая индустрия была пионером, где для стабильного и эффективного ведения процессов нужно контролировать тысячи переменных.[2]. Системы предиктивной аналитики начали активно разрабатываться для всех отраслей промышленности. Компании используют предиктивную аналитику для решения сложных проблем и поиска новых возможностей – от прогнозирования поведения потребителей до поддержки обслуживания оборудования. Компании начинают использовать предиктивную аналитику в операционном менеджменте, производстве, сервисном обслуживании и пр.[1] Множество фирм в настоящий момент предлагают услуги по внедрению подобных систем. Создаются математические модели производств любой сложности и размеров. Но в них они охватывают очень большое количество параметров, что усложняет и увеличивает стоимость окончательного продукта. При этом остается много факторов, которые трудно просчитать. В данной работе решение поставленной проблемы при помощи «упрощенного» варианта таких систем.

Данная работа заключается в разработке системы ранней диагностики оборудования по наиболее важным параметрам. При этом датчики будут подключены к существующим системам автоматизированного управления технологического процесса, что не должно сильно повлиять на стоимость данной системы. Так же на фактор стоимости может положительно повлиять возможность реализации подобных проектов силами самого предприятия без привлечения работников сторонних организаций. Данная работа нацелена на обоснование эффективности таких диагностических комплексов, что позволит ставить аналогичные системы и на другие механизмы с целью их анализа и контроля без внесения значительных изменений в действующих системах. Результатом работы будет готовый комплекс, который получает и анализирует исследуемые параметры. Если изучаемые параметры выходят за пределы ранее определенных рамок, то система заблаговременно выдает информацию оператору (в виде подсказки или предупреждения) о необходимости замены или обслуживания оборудования в ближайшее время. Это позволит минимизировать или даже исключить внеплановые остановки и простои оборудования и, как следствие, улучшить качество выпускаемой продукции и увеличить прибыль для предприятия.

В качестве объекта исследования выбран коксотушильный гидровоз коксовой батареи №1 коксового цеха Коксоаглодоменного производства АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский Металлургический Комбинат». Данный гидровоз является уникальным электромеханическим комплексом т.к. на других коксовых батареях используют электровозы, не использующие гидравлику как основную движущую силу. На КБ №1 обслуживание данной машины требует присутствия сразу нескольких специалистов, таких как электрик, гидравлик, механик и наладчик.

Важность данного объекта заключается в том, что в течение смены гидровоз безостановочно перемещает коксотушильный вагон вдоль батареи в процессе выгрузки кокса из печей [3]. Печи принимают с интервалом в 5-7 минут, не имея при этом «горячего резерва» для быстрой замены гидровоза. Исключением являются циклические остановки, связанные с особенностями технологии коксохимического производства, за время которых производят техническое обслуживание и ремонт всех коксовых машин. Любые работы с гидровозом не в циклические остановки создает значительные простои, которые срывают графики выдачи, ухудшают качество готового коксового угля и соответственно отрицательно влияют на перспективную прибыль предприятия. За счет прогнозирования

износа оборудования и соответственно запланированных ремонтов или замен гидровоза в циклические остановки можно минимизировать нежелательные последствия. Работа машины осуществляется с помощью гидронасоса, который работает от вращения электродвигателя через муфту. Гидронасос в свою очередь питает гидромоторы, непосредственно вращающие колеса. Вся система работает под управлением промышленного программируемого логического контроллера фирмы Schneider Electric Modicon QUANTUM TSX. Именно гидронасос и является самым нагруженным агрегатом в этой схеме, соответственно верным решением будем создавать систему анализа и прогнозирования на этот механизм. При этом нам важно обратить внимание на параметры, влияющие на мгновенный выход машины из строя. Говоря о гидровозе можно сравнить такие параметры, как давления и расход масла в гидросистеме и уровень вибрации в гидравлическом насосе или муфте. Так при исследовании параметра давления или расхода масла в системе мы сможем косвенно оценивать производительность насоса. При снижении давления мы можем судить о некотором износе агрегата, который так же повлияет на скорость передвижения машины. Однако при этом гидровоз сможет продолжить работать достаточно долгое время. При исследовании уровня вибрации на муфте появится возможность оценивать степень износа и прогнозировать время выхода строя конкретного узла. В случае разрушения муфты мгновенно случится вынужденная остановка всего механизма, которая потребует срочной замены гидровоза на резервный. Именно вероятность этого исхода событий и нужно исключить. Из этого следует, что в конкретном случае в первую очередь нужен мониторинг состояния муфты и электродвигателя по уровню вибрации. Со временем можно расширить систему диагностики и для оценки расхода и давления масла и прочих параметров. По ним можно будет судить о состоянии гидромоторов, целостности гидросистемы.

Все данные с датчиков первоначально планируется собирать в базу данных. Спустя время собранную информацию нужно будет проанализировать с учетом того, какой из гидровозов находился в работе, проводились ли с ним какие либо работы и манипуляции, чтобы создать математическую модель характеристик каждого гидровоза, на которую впоследствии будет опираться система. После создания модели произведется корректировка существующих и создание недостающих предупреждений и аварийных сообщений. Вместе с этим в SCADA-системе создается «подсказчик» для операторов коксовой батареи с целью быстрого доведения информации до обслуживающего персонала и внесения возможных корректировок в планирование тех или иных работ задолго до критических последствий.

В настоящее время по этой теме производится сбор и изучение нормативной документации, подбор подходящего для данной задачи оборудования и корректировка существующих схем.

Библиографический список

1. Хасанов А.Р. Влияние предиктивной аналитики на деятельность компаний/ Хасанов А.Р. // Стратегические решения и риск-менеджмент.-2008.-№108.- С. 108-113.
2. Белоусов О.Ю. Предиктивная аналитика состояния оборудования в химико-технологических процессах/ Белоусов О.Ю, Владов Р.А., Дозорцев В.М., Шайдуллин Р.А.// Автоматизация в промышленности/2019.-№12-С.44-52.
3. Бурылин С.Д., Вовк А.В., Григоров В.И. // Справочник коксохимика. Том 2.- 2014 - С. 266.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ SCADA-СИСТЕМЫ GENESIS64 В УСЛОВИЯХ ОФ ООО СП "БАРЗАССКОЕ ТОВАРИЩЕСТВО"

Коровин Д.Е.¹, Грачев В.В.¹, Мышляев Л.П.², Раскин М.В.², Пургина М.В.³

¹Сибирский Государственный Индустриальный Университет, Новокузнецк, Россия

²Научно-исследовательский центр систем управления, Новокузнецк, Россия

³Новосибирский государственный университет экономики и управления,
г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Статья посвящена особенностям внедрения SCADA-системы Genesis64 в рамках технического перевооружения системы диспетчеризации обогатительной фабрики «Барзасское товарищество». Рассмотрены ключевые моменты перехода из устаревшей версии SCADA-системы Genesis32 в новейшую Genesis64.

Ключевые слова: автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), обогатительная фабрика (ОФ), Genesis32, Genesis64, Kepware KepServerEX.

Abstract. The article is devoted to the features of the implementation of the Genesis64 SCADA-system as part of the technical re-equipment of the dispatching system of the processing plant "Barzasskoe partnership". Considered the key points of transition from the outdated version of the Genesis32 SCADA system to the newest Genesis64.

Keywords: automated process control system (APCS), processing plant (PP), Genesis32, Genesis64, Kepware KepServerEX.

В 2021 году проводилась модернизация автоматизированной системы управления технологическим процессом обогатительной фабрики (АСУ ТП ОФ) ООО СП «Барзасское товарищество» (г. Березовский, Кемеровская обл.). Действовавшая АСУ ТП ОФ, введенная в эксплуатацию в 2009 году, во многом морально и физически устарела [1]. Программное и информационное обеспечение верхнего уровня действующей АСУ ТП ОФ «Барзасское товарищество» было построено на базе SCADA-системы Genesis32 компании Iconics (США).

В связи с ограниченностью функционала данного программного продукта, отсутствию поддержки современных версий ПО и нестабильной работой при увеличивающемся объеме информации, руководством фабрики было принято решение о переходе на новую версию SCADA-системы – Genesis64 [2].

Genesis64 является полноправным преемником SCADA-системы Genesis32, благодаря этому доступно прямое наследование программных компонентов. Архитектура программного пакета Genesis64 основана на 64-битных вычислениях и спроектирована на основе ядра, позволяющего использовать преимущества многопроцессорного, многопоточного и аппаратного ускорения графики.

Программный пакет Genesis64 строится по модульному принципу и состоит из следующих компонентов:

- набор драйверов ввода-вывода информации, поддерживающих технологии OPC, OPC UA, SNMP, BACnet, веб-сервисы и подключение баз данных;
- модуль GraphWorX64 – векторная 2D и 3D графика в реальном времени для адаптации данных к реальной обстановке;
- модуль AlarmWorX64 – распределенное управление сигналами тревоги по всему предприятию;
- модуль Super Historian – высокоскоростной, надежный и эффективный сервер архивных данных предприятия;
- приложение Workbench – централизованная конфигурация и интерфейс среды исполнения (Runtime Interface);
- резервирование – решение HMI/SCADA для наиболее критичных приложений.

Genesis64 предоставляет собой открытое решение HMI/SCADA с полной поддержкой стандартов OPC. Genesis64 позволяет производить прямые взаимодействия посред-

ством протокола OPC UA, а поддержка протоколов OPC Classic (DA, HDA и A / E) и OPC .NET обеспечивает полную интеграции со стандартами OPC [3].

GraphWorX64 – это центр визуализации программного комплекса Genesis64. Интуитивно понятный интерфейс данного модуля позволяет быстро разрабатывать мнемосхемы и безошибочно настраивать подключения с драйверами ввода-вывода.

AlarmWorX64 – это распределенная система управления сигналами тревоги и событиями в масштабах всего предприятия, стандартные функции которой включают в себя автоматическую синхронизацию. AlarmWorX64 предлагает инструменты, необходимые для доставки информации в реальном времени и архивной информации о сигналах тревоги.

Программный комплекс ICONICS Hyper Historian – это надежный и быстрый сервер оперативных и исторических данных, обладающий высоким уровнем масштабируемости с поддержкой промышленных стандартов подключения к данным по протоколам OPC DA, A&E, HDA и OPC-UA.

Приложение Workbench – это централизованная веб-среда для конфигурирования всех компонентов GENESIS64. Workbench также может выступать в качестве простого операторского интерфейса для управления сервисами и имеет встроенные функции управления проектами, такие как развертывание на конечных станциях проектов, инструменты компоновки и интерфейс браузера файлов.

Укрупненно можно выделить четыре этапа по переходу со SCADA-системы версии Genesis32 до версии Genesis64:

- обновление программного продукта ввода-вывода информации;
- импорт существующих конфигураций окон;
- адаптация мнемосхем и видеокладов;
- адаптация конфигурации базы данных Трендов и Алармов.

1. *Обновление программного продукта ввода-вывода информации.* Изначально на обогатительной фабрике был установлен программный продукт OPC-сервер KerServerEX v4 компании Kerware (США). Однако последнее обновление версии 4 было выпущено в 2009 году. Поэтому было принято решение перейти на последнюю версию 6, датированную 2021 годом, поддерживающую современные протоколы обмена данными. Благодаря полной совместимости версий OPC-серверов KerServerEX доступен прямой перенос существующих конфигураций в новую версию. При этом обновление программного продукта KerServerEX позволило реализовать информационный обмен с ранее недоступными устройствами. Интерфейс OPC-сервера KerServerEX v6 приведён на рисунке 1.

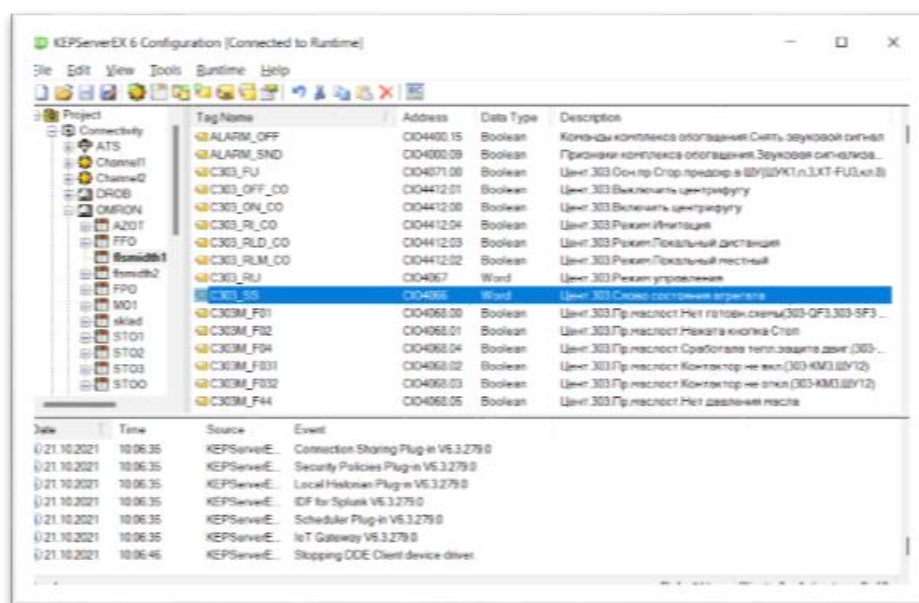


Рисунок 1– Интерфейс OPC-сервера KerServerEX v6

Также следует отметить, что в пакете Genesis64 отсутствует компонент DataWorX, являющийся в версии Genesis32 мостом между OPC и SCADA. В Genesis64 реализован прямой обмен данными между OPC и SCADA. Данное решение позволяет избежать настройки промежуточного элемента, что в конечном итоге сократило время добавления новых переменных в SCADA-систему [4].

2. *Импорт существующих конфигураций окон.* Разработчиками SCADA-системы Genesis64 был предусмотрен механизм импорта и экспорта конфигураций между разными версиями и поколениями систем. Такое решение позволяет использовать уже существующие в ранних версиях компоненты (видеокадры, базы данных, алармы, тренды) с минимальными доработками.

Перенос существующих конфигураций окон из Genesis32 в Genesis64 состоит из двух шагов. На первом шаге производится экспорт всей информации из существующей SCADA-системы Genesis32 в промежуточные файлы формата CSV и XML, что показано на рисунке 2.

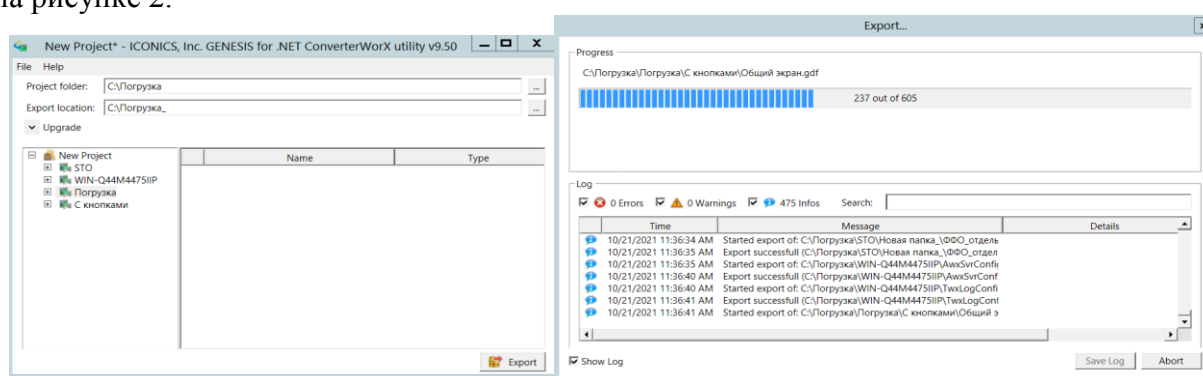


Рисунок 2 – Окно экспорта конфигураций в промежуточный формат

На втором шаге файлы CSV и XML, полученные в версии Genesis32, импортируются в новый формат GDFX для использования в Genesis64. Интерфейс программы импорта показан на рисунке 3.

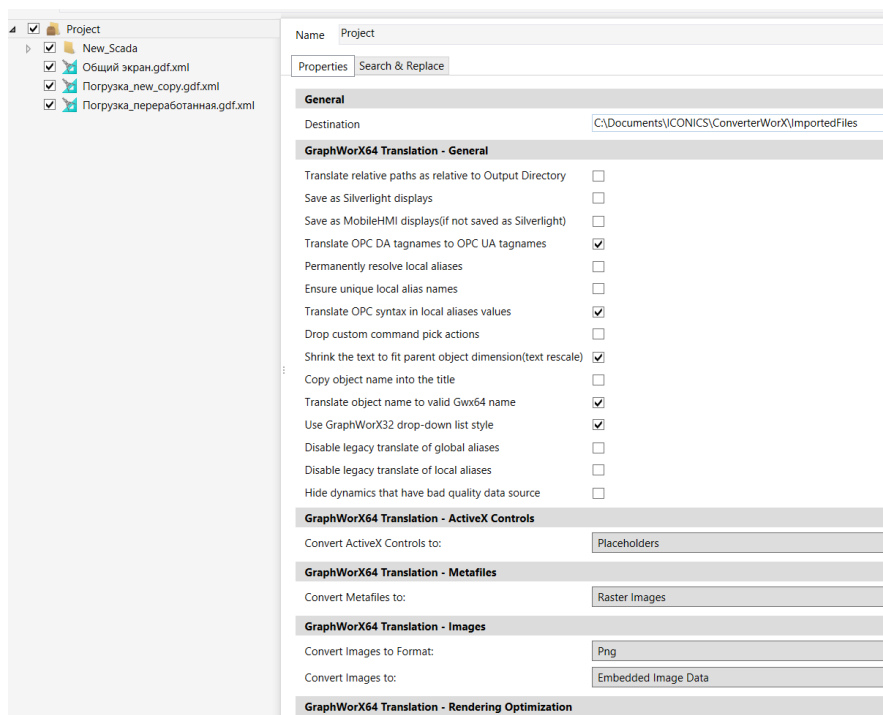


Рисунок 3 – Интерфейс программы импорта

3. *Адаптация мнемосхем и видеокладов.* Получившиеся посредством импорта в Genesis64 видеоклады не в полной мере соответствуют исходным из версии Genesis32 и требуют доработки. Это связано с большими изменениями в графических редакторах между разными поколениями SCADA-систем.

Для решения проблемы корректного отображения видеокладов, применялись шаблоны стилей. Были созданы подходящие стили для кнопок и текстов, и в последствии они использовались во всем проекте. Пример всплывающего окна выбора стилей показан на рисунке 4.

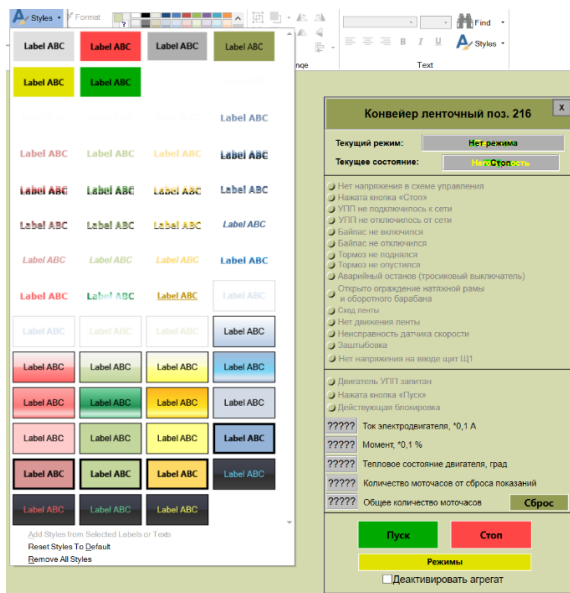


Рисунок 4 – Выбор стилей для проекта

Использование стилей для окон позволило в кратчайшие сроки получить окна мнемосхем, аналогичные уже присутствующим у диспетчера [5]. Данное решение также позволяет диспетчеру сразу начать работу, без периода адаптации. Главный видеоклад диспетчера после применения стилей показан на рисунке 5.

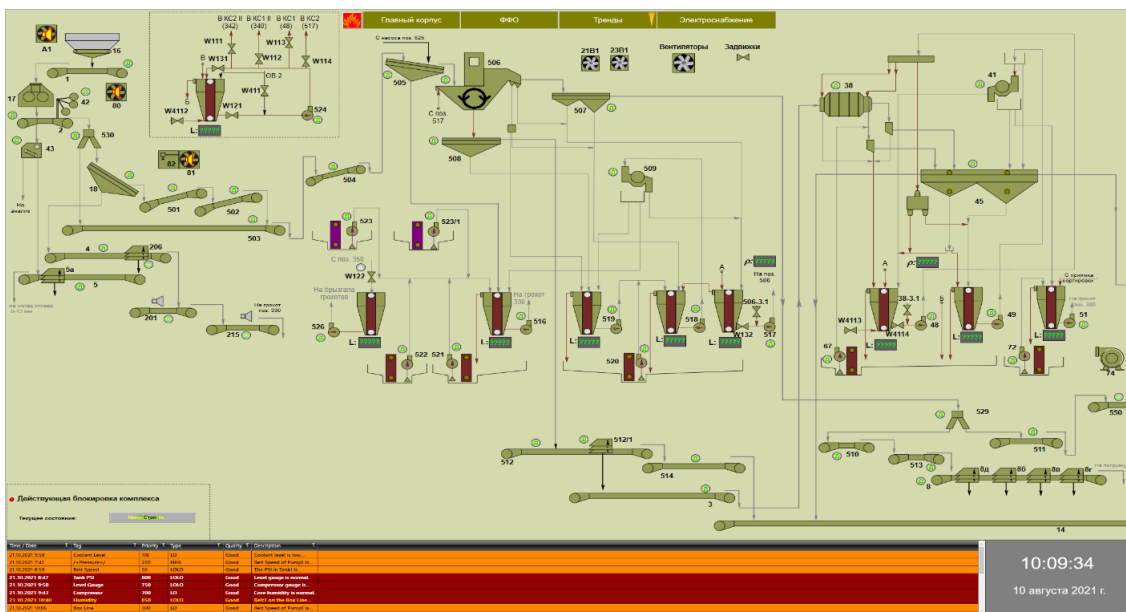


Рисунок 5 – Главный видеоклад диспетчера ОФ «Барзасское товарищество», построенный в среде Genesis64

Также одной из особенностей SCADA-системы Genesis64 является, то, что все видеоклады создаются отдельными файлами. Достоинство данного решения – относитель-

ная простота при переносе видеокладов на любую рабочую станцию или в любой проект. Недостатком является отсутствие автоматизированного контроля версий – контроль возложен на персонал, производящий замену [6].

4. *Адаптация конфигурации базы данных Трендов и Алармов.* Импорт конфигураций баз данных трендов и алармов производится через аналогичный инструментарий для импорта окон. При этом полученные конфигурации баз данных не требуют существенной доработки, так как все требуемые функции из версии Genesis32 присутствуют в версии Genesis64. Доработка может потребоваться только для добавления нового функционала трендов и алармов.

Такое решение повышает производительность, снижает объем базы данных, обеспечивает высокую частоту дискретизации собираемых данных, предоставляет большое количество условий отбора данных и удобный инструментарий для отображения информации.

Вывод. В рамках технического перевооружения системы диспетчеризации обогатительной фабрики «Барзасское товарищество» был использован программный пакет Iconics Genesis64. Благодаря наличию широких функциональных возможностей импорта/экспорта в программных пакетах Iconics Genesis32/64, произведен бесшовный переход с минимальными трудозатратами с устаревшей версии SCADA-системы Genesis32 на новейшую версию Genesis64. Использование пакета Iconics Genesis64 при модернизации АСУ ТП ОФ «Барзасское товарищество» позволило сократить времязатраты при разработке системы, упростить процесс внесения изменений, повысить удобство и эффективность работы при эксплуатации системы. Модернизация происходила без остановки технологического процесса и позволила в короткие сроки перейти персоналу фабрики ООО «Барзасское товарищество» к использованию новой версии SCADA-системы.

Библиографический список

1. Коровин Д.Е. Совершенствование верхнего уровня системы автоматизации управления технологическим комплексом обогатительной фабрики/ Д.Е. Коровин, Д.В. Иванов// Наука и молодежь: научный журнал – СибГИУ. – Новокузнецк, 2018. – Вып. 22.– С. 198 – 199.

2. Официальный сайт Iconics [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. – США – Режим доступа: <http://www.iconics.com/>

3. Официальный сайт стандарта OPC [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: www.opcfoundation.org.

4. Шипунов М.В. Информационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики «Барзасское товарищество»/ М.В. Шипунов, Д.Е. Коровин, В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, М.В. Ляховец, М.Ю. Мелкозеров, Г.В. Макаров // Вестник Сибирского государственного индустриального университета, 2018. №4. – С. 41-45.

5. Ляховец М.В. Модернизация автоматизированной системы управления технологическими процессами обогащения в условиях реконструкции обогатительной фабрики / М.В. Ляховец, К.Г. Венгер, Л.П. Мышляев, М.В. Шипунов, В.В. Грачев, Г.В. Макаров, М.Ю. Мелкозеров // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2019.– №5 – С. 295 – 299.

6. Коровин Д.Е. Модернизация программного и информационного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП ОФ ООО СП «Барзасское товарищество» / Коровин Д.Е., Леонтьев И.А., Грачев В.В., Мелкозеров М.Ю., Шипунов М.В., Ляховец М.В. // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS'2017: Труды XI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Новокузнецк. СибГИУ, 2017. – С. 254–259.

ИТЕРАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ И АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ, КАК КОМПОНЕНТЫ «УМНОГО ДОМА»

Гусев С.С.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Москва, Россия, gs-serg@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается модель фактического времени эвакуации людей при пожаре, устройство и алгоритмы работы системы пожарной сигнализации, как сегмента «Умного Дома». Также проводится моделирование процессов эвакуации людей из здания при наступлении чрезвычайной ситуации, учитывая плотность потока людей и скорость потока передвижения, рассмотрев различные сценарии организации рабочего пространства и поведения людей. Проводится обзор существующих решений. Так, например, приводится итерационная модель расчета фактического времени эвакуации людей при пожаре, итерационная модель расчета индивидуального пожарного риска.

Ключевые слова: умный дом, моделирование процессов, чрезвычайная ситуация, здания и сооружения, рекомендации, процессы эвакуации людей из зданий.

Abstract. The article discusses the model of the actual time of evacuation of people in case of fire, the device and algorithms of the fire alarm system, as a segment of the «Smart Home». It also simulates the processes of evacuation of people from the building in the event of an emergency, taking into account the density of the flow of people and the speed of the flow of movement, considering various scenarios of the organization of the working space and the behavior of people. The existing solutions are reviewed. For example, an iterative model for calculating the actual time of evacuation of people in a fire, an iterative model for calculating the individual fire risk is given.

Keywords: smart home, process modeling, emergency situation, buildings and structures, recommendations, processes for evacuating people from buildings.

Введение

Современная жизнедеятельность человека плотно связана с объектами капитального строительства, которыми являются здания, строения, сооружения.

Неотъемлемыми элементами объектов капитального строительства являются инженерные системы [1]. Их состав регламентируется проектной документацией. Примером инженерных систем, которые обеспечивают безопасность, может стать система пожарной сигнализации, пожаротушения, система оповещения и управления эвакуацией, система контроля доступа и т.д. К инженерным системам жизнеобеспечения относятся системы отопления, водоснабжения, электроснабжения и др.

Автоматизированное управление позволяет оперативно управлять инженерными системами с помощью заложенной в систему модели поведения с целью снижения ущерба в результате аварийных ситуаций.

Наиболее распространённым примером чрезвычайных ситуаций (ЧС) являются пожары, вследствие которых возможна гибель людей. Бытовым примером ЧС являются аварии систем водоснабжения или отопления, следствием которых является материальный ущерб.

Динамично развивающимся сегментом управления инженерными системами является комплекс задач по мониторингу и управлению зданиями, строениями, сооружениями, который получил название «Умный дом».

«Умный Дом» – интеллектуальная система, обеспечивающая автоматическую и согласованную работу всех систем жизнеобеспечения и безопасности [2].

Обеспечение пожарной безопасности людей требует, организации их безопасной эвакуации. Критерии безопасной эвакуации людей – своевременность и беспрепятственность – в настоящее время проверяются на основе расчетов с помощью тех или иных моделей движения людского потока, реализованных в исполнительных алгоритмах для ЭВМ.

Снижение величины ущерба здоровью человека при ЧС зависит от многих факто-

ров, таких как, количество людей в здании, ширина дверных проемов, количество пожарных и запасных выходов из здания и др.

Исследования в этой области выявили множество алгоритмов расчёта эвакуации и факторов для оптимизации процесса эвакуации из здания. Но эти алгоритмы описывают любую систему только в общем случае, приводя средние значения, не затрагивая частные случаи задачи (например, когда в помещении находится количество людей большее, чем предусмотрено по проекту, эвакуация из небоскребов – это особая задача, она не рассматривается в данной работе и др.).

Таким образом, задача исследования различных случаев эвакуации с целью уменьшения материальных и людских потерь, является актуальной проблемой.

Требуется исследовать устройство и алгоритмы работы системы пожарной сигнализации, как сегмента «Умного дома», а также провести моделирование процессов эвакуации людей из здания при наступлении ЧС, учитывая плотность потока D и скорость потока v , рассмотрев различные сценарии организации рабочего пространства и поведения людей. И, как результат предложить перечень рекомендаций для более рационального использования пространства зданий и снижения степени потенциального ущерба в случае возникновения ЧС.

Целью работы является расчет фактического времени эвакуации людей при интенсивности и скорости движения людского потока на разных участках путей в зависимости от плотности потока людей.

1. Постановка задачи

Задачей инженерных систем, которыми оснащено любое современное здание, является создание комфортных условий жизни и условий труда человека, а также уменьшение ущерба в случае возникновения сбоев, аварий, нештатных (чрезвычайных) ситуаций. Важную роль при этом играет умение правильно повести себя при наступлении ЧС, своевременно и адекватно реагировать на оповещение об аварии и организованно, спокойно покинуть здание, не создавая паники и давки.

Процесс организованной эвакуации требует соблюдения множества факторов, среди которых нормы пожарной безопасности, правила поведения при пожаре, пропускная возможность дверных проемов, в случае любой ЧС лифты отключают в здании и многое другое.

Пожарная сигнализация и система оповещения позволяют обнаружить возгорание на ранних его стадиях и предотвратить пожар. Для лица принимающего решения (ЛПР) ответственного за пожарную безопасность в здании, важно понимать алгоритмы, по которым работает пожарная сигнализация и система оповещения при пожаре, а также иметь перечень правил, которым должны следовать люди, находящиеся в здании в момент ЧС, в зависимости от своих должностных инструкций. Для решения данной задачи требуется проанализировать алгоритмы работы инженерных систем и методы реагирования на различные виды отклонений параметров системы пожарной сигнализации.

Важной задачей при наступлении нештатной ситуации является эвакуация людей. Существует множество нормативных документов, регламентирующих правила поведения при пожаре и ЧС. Подобные документы приводят средние величины, не рассматривая частные случаи, поскольку составить план эвакуации при ЧС в любом здании невозможно потому, что любой нормальный человек должен следовать плану эвакуации, который висит на стенке.

Для обеспечения безопасности при эвакуации людей из здания в случае возникновения ЧС, оснащенного системой «Умный дом», необходимо на примере системы пожарной сигнализации решить следующие задачи:

- провести моделирование процессов реагирования на критические отклонения параметров системы пожарной сигнализации;
- реализовать имитационное моделирование процессов эвакуации людей из здания при ЧС, установить величины времени эвакуации при различных сценариях;

– провести анализ и оценку полученных величин, дать заключение по предотвращению тяжких последствий при эвакуации.

Таким образом, задача исследования различных случаев эвакуации с целью предотвращения материальных и людских потерь, является актуальной проблемой.

2. Обзор существующих решений

2.1 Итерационная модель расчета фактического времени эвакуации людей при пожаре

Итерационная модель расчета фактического времени эвакуации людей при пожаре была предложена Кадуриной М.С. [3-6]. По результатам проведенного исследования, были разобраны два метода расчета фактического времени эвакуации людей при пожаре: методика, разработанная в МЧС и методика, предложенная Холщевниковым В.В. ещё в начале 80-х годов. В результате анализа было выявлено, что ныне существующие методы расчета времени эвакуации, хоть и эффективны и достаточно точны, но представляют собой сложный алгоритм, требующий учета большого числа факторов, что в свою очередь весьма усложняет и увеличивает время расчетов. Поэтому, объединив описанные выше методики, она предложила улучшенную модель расчета фактического времени эвакуации, которая была названа итерационной.

Основной идеей итерационной модели расчета, предложенной Кадуриной М.С., является построение простой модели приближенной к реальному математическому аппарату, основанному на реальных оценках модели. В то же время, расчет представляет собой разбиение основного участка эвакуации людей на относительно небольшие интервалы, с целью дальнейшего их расчета по временным интервалам. Временные интервалы, относительно которых впоследствии производится расчет, представляют время, за которое человек сможет преодолеть каждый эвакуационный участок. Время эвакуации людей из здания выбирается одним из двух представленных способов. Либо расчет производится точный. И тогда время находится по формулам упрощенной аналитической модели. Либо предлагается второй вариант для расчета эвакуации людей из здания, уже менее точный. Тогда расчет производится по формуле интенсивности людского потока на выходе с эвакуационного участка.

Один из двух предложенных способов расчета использует формулы упрощенной аналитической модели движения людских потоков. По значениям плотности однородного людского потока (1) и интенсивности в дверном проеме (выходе с участка) (2) из таблицы находится значение скорости для текущего эвакуационного участка.

$$D_{s^{(k)}} = \frac{N_{s^{(k)}} \cdot f}{a_s \cdot b_s}, \quad (1)$$

где $D_{s^{(k)}}$ - число людей на s -том эвакуационном участке, чел.;
 f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²;
 a_s - длина s -го эвакуационного участка, м;
 b_s - ширина s -го эвакуационного участка, м.

$$q_s^{(k)} = \frac{q_s^{(k)} \cdot b_s}{c_s} \quad (2)$$

где $q_s^{(k)}$ – интенсивность на s -ом эвакуационном участке, соответствующая найденной плотности потока $D_{s^{(k)}}$, м/мин.

Отрезок времени по второму способу рассчитывается по формуле (3).

$$t_{0s}^{(k)} = \frac{a_s \cdot 60}{V^{(k)}}, \quad (3)$$

Так как расчет времени происходит на каждой итерации для всех участков, необходимо определить отрезок времени $t_0^{(k)}$, относительно которого будем считать количе-

ство людей, переходящих на следующий участок. Для выбора расчетного времени так же предлагается два варианта. Первый вариант заключается в использовании формулы математического ожидания, для того чтобы получить расчетное время $t_0^{(k)}$, которое используется для расчета количества переходящих людей на следующий участок относительно одного общего расчетного времени (4), то есть используется одно расчетное время для всех эвакуационных участков.

$$t_0^{(k)} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n t_{0_s}^{(k)}, \quad (4)$$

где s – эвакуационный участок;

n – количество эвакуационных участков.

Второй вариант заключается в использовании расчетного времени $t_0^{(k)}$ для эвакуационного участка s , то есть расчетное время будет не общее для всего здания, а индивидуальное для каждого участка и оно будет равно времени, полученному на этом участке в начале расчета каждой итерации. Для того чтобы синхронизировать расчет эвакуации по участкам, так как время на каждом участке будет разное, предлагается учитывать общее время процесса T . Выбор шага времени T выбирать в зависимости от требуемой точности расчета. В таком случае участки будут обрабатываться в логической последовательности и перерасчет количества людей на каждом участке происходит тогда, когда

$$\left(T - \sum_{k=1}^i t_0^{(k)} \right) \leq 0, \quad (5)$$

где i – количество итераций на данном участке.

То есть после очередного перерасчета количества людей на участке s на итерации $(k-1)$, следующий перерасчет будет через время $t_0^{(k)}$. Данный вариант выбора расчетного времени следует использовать для улучшенного моделирования эвакуации людей из здания при пожаре. Первый вариант является упрощенным, но его так же допускается использовать.

Расчеты, приведенные в формулах (6, 7), следует повторить на каждой итерации для всех эвакуационных участков. Для упрощения описания, в формулах перерасчета людей, расчетное время указывается как $t_0^{(k)}$, но следует учитывать, что если для выбора расчетного времени использовался второй вариант, то предполагается, что в формулах (7, 8) $t_0^{(k)} \equiv t_{0_s}^{(k)}$.

Плотность людского потока и количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, будут рассчитываться по формулам математической модели индивидуально-поточного движения людей. Для расчета плотности людского потока $Dv_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$ на эвакуационном участке s , используем рассчитанный отрезок времени $t_0^{(k)}$ (6,7).

$$Dv_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) = \frac{N_{s^{(k)}} \cdot f \cdot t_0^{(k)}}{a_s \cdot b_s}. \quad (6)$$

Затем по таблице интенсивности и скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности находится соответствующая плотности $Dv_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$ интенсивность движения на выходе с участка $q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$, м/мин; затем вычисляется количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой за $t_0^{(k)}$, $Q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$, чел.

$$Q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) = \frac{q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) \cdot c_s \cdot t_0^{(k)}}{f \cdot 60}. \quad (7)$$

Количество человек, которые полностью перешли на следующий эвакуационный

участок за $t_0^{(k)}$, вычтешь из количества человек на текущем эвакуационном участке. Если участок s является участком первого уровня, по терминам графового представления плана эвакуации, значение $Q_{s-1}^{(k)}(t_0^{(k)}) = 0$.

В случае если последующий участок не один, люди будут распределяться либо в равных долях на каждый участок, либо распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным в методике. Расчет провести для всех s эвакуационных участков, до тех пор, пока количество человек в здании не станет равным 0. Время эвакуации равно сумме $t_0^{(1)}, \dots, t_0^{(i)}$ каждой итерации.

2.2. Итерационная модель расчета индивидуального пожарного риска

Также, Кадуриной М.С. совместно с Даничевым А.А. была предложена итерационная модель расчета индивидуального пожарного риска [7, 8].

Итерационная модель, представляющая расчет фактического времени эвакуации людей из здания при возникновении ЧС, в данном случае – при пожаре, основана на двух моделях. Первая модель представляется упрощенной аналитической. А вторая модель представляется индивидуально-поточной. В основу итерационно-поточной модели легло моделирование поэтапного выведения людей из здания при возникновении нештатной ситуации одновременно со всех участков эвакуации. В этом отличие итерационно-поточной модели от упрощенной, которая не предусматривает вычисления расчета времени эвакуации из каждого помещения, а также расчета плотности людей при эвакуации, интенсивности их движения при передвижении из одного помещения в другое помещение, количества переходящих людей.

Точность результата временного интервала эвакуации людей из здания зависит от способа задания параметров эвакуации. Если начальные условия устанавливаются достаточно протяжным участком эвакуации людей из здания, то время, рассчитываемое при данном запросе, стремится к увеличению, так как расчет начального времени зависит от длины участка. Расчетные параметры зависят также от начального числа людей в здании. В результате было предложено ввести корректирующий коэффициент z чтобы можно было корректировать описываемую зависимость. Таким образом, получим новую формулу расчета количества переходящих на следующий участок людей $Q_{s(k)}'(t_0^{(k)})$.

$$Q_{s(k)}'(t_0^{(k)}) = Q_{s(k)}(t_0^{(k)}) \cdot z, \quad (8)$$

где $Q_{s(k)}(t_0^{(k)})$ – расчетное количество переходящих на следующий участок людей.

Точный расчет времени эвакуации людей из разных по сложности объектов основан на итерационной модели. Итерационная модель не требует ввода новых параметров, которые оказывали бы влияние на расчет времени эвакуации людей из здания или развитие ЧС, в данном случае – пожара. Итерационная модель не требует больших вычислительных ресурсов в отличие от индивидуально-поточной модели. Следовательно, расчет времени эвакуации людей при итерационной модели может быть распараллелен. И, таким образом, вычислительный процесс может быть распределен на несколько вычислительных устройств.

3. Алгоритм работы пожарной сигнализации

Был проведен комплекс работ по анализу и разбору инженерных систем «Умного здания»: системы пожарной сигнализации и системы оповещения и управления эвакуацией. Были построены алгоритмы реагирования датчиков на критические отклонения параметров, такие как, резкое повышение температуры и коэффициент оптической проницаемости. Для повышения безопасности эксплуатации инженерных систем важно было рассмотреть возможные варианты сбоев в системе пожарной сигнализации и создать перечень инструкций для людей, работающих в рассматриваемом здании. Диаграмма процес-

са, иллюстрирующая алгоритмы поведения людей в зависимости от режима работы пожарной сигнализации и системы оповещения, изображена на рис. 2.

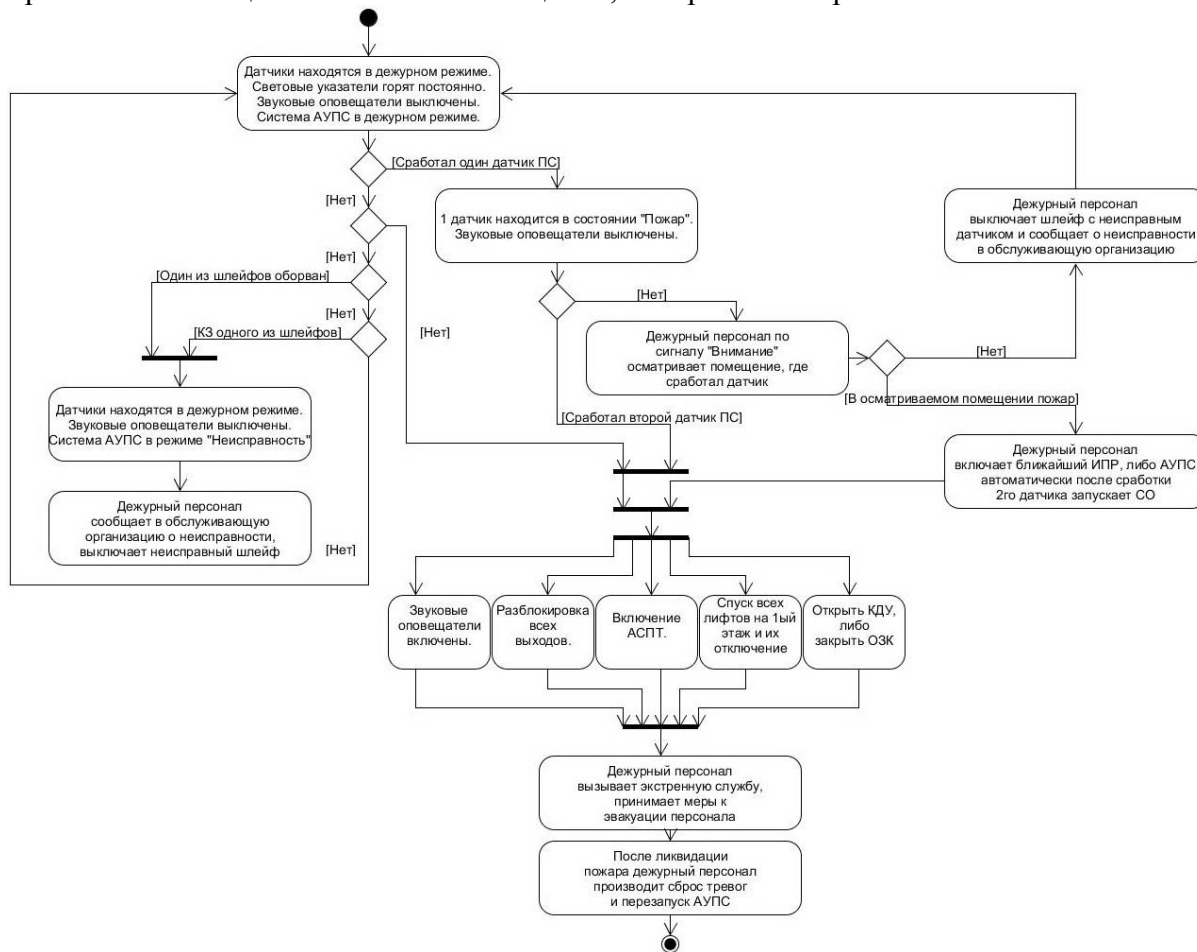


Рисунок 2 - Алгоритм работы пожарной сигнализации

Алгоритм работы пожарной сигнализации представляется следующим образом. При срабатывании одного или нескольких извещателей пожарной сигнализации, дежурный персонал осматривает помещение, в котором сработали пожарные извещатели, и принимает соответствующее решение по мере развития ситуации. Если сигнализация была ложной, и срабатывание извещателей было ложным, то персонал просто отключает систему аварийного срабатывания сигнализации и ставит извещатели обратно в рабочий режим. Либо, если произошло короткое замыкание в цепи одного из шлейфов, дежурный персонал сообщает в обслуживающую организацию о неисправности, выключает неисправный шлейф. Третий вариант развития по мере срабатывания сигнализации, человек принимает решение, либо тушить пожар собственными силами, если очаг возгорания оказался незначительным, либо, если очаг возгорания оказался значительным и человек не может справиться с возникшей ситуацией самостоятельно, то он вызывает экстренную службу, принимает меры к эвакуации персонала из помещения, где произошло возгорание. После ликвидации пожара дежурный персонал производит сброс тревог и перезапускает автоматизированную управляемую пожарную сигнализацию, принимает решение по устранению неисправностей и восстановления помещения, где произошло возгорание и только после восстановления систем жизнеобеспечения помещения, возвращает персонал на место.

4. Реализации модели учитывающая факторы и параметры влияния человека на процесс эвакуации

Согласно методике [9] расчётное время эвакуации людей определяется, как промежуток времени с момента обнаружения пожара до полной эвакуации, и может быть рассчитано одним из следующих способов:

- по упрощённой аналитической модели движения людей;
- по математической модели индивидуально поточного движения людей;
- по имитационно-стохастической модели движения.

Упрощённая аналитическая модель впервые появилась в ГОСТ 12.1.004-91. Данная модель, единственная, позволяет производить расчёты вручную. Основная мысль, заложенная в эту модель, состоит в том, что величина времени эвакуации рассчитывается, как время движения одного или нескольких людских потоков от наиболее удалённых от выхода в безопасную зону мест размещения людей [10].

При расчёте весь путь движения разбивается на участки (дверные проёмы, коридоры, лестницы и т.д.), как показано на рис. 3, а итоговое время рассчитывается, как сумма времени движения по отдельным участкам.

Основной смысл модели состоит в делении здания на участки шириной примерно 1м и выполнении нескольких расчётных итерации в секунду для каждого участка. Так, например, для расчёта времени эвакуации 2-х этажного здания площадью 1000м² потребуется около 40 тыс. операций машинного счёта. Отсюда следует, что данная модель не может быть рассчитана вручную. Более того, на российском рынке существует лишь одно программное обеспечение, реализующее данную модель.

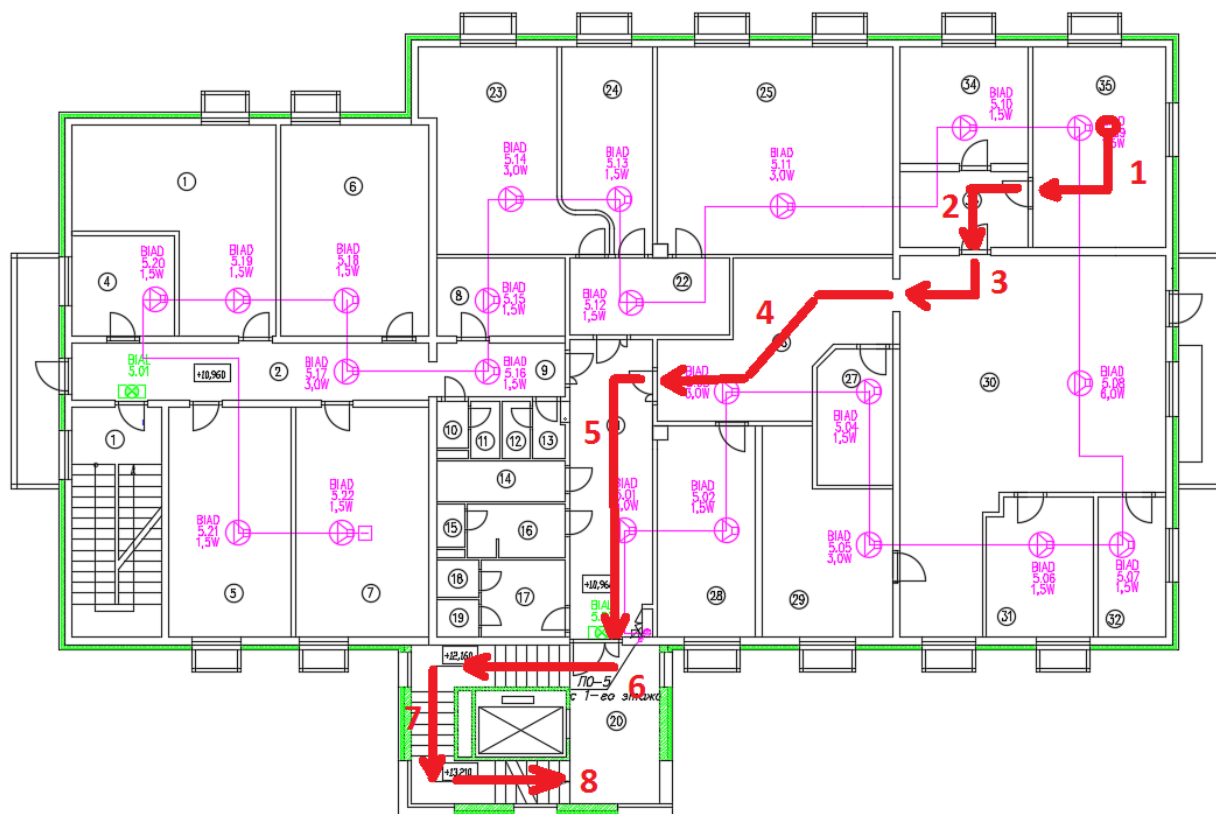


Рисунок 3 - Разбиение пути эвакуации на логические отрезки

В математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания объектом моделирования является не поток, как в двух предыдущих моделях, а отдельно взятый индивид, что позволяет учитывать особенности людей. Поэтому, такие модели получили широкое распространение в мире.

При определении расчётного времени эвакуации по индивидуально-поточной модели используются принципы составления расчётной схемы эвакуации людей, параметры движения различных групп мобильности, значения площадей горизонтальных проекций различных индивидов. К минусам такой модели можно отнести тот факт, что в Методике [9] отсутствуют значения параметров движения людей разных возрастных групп (дети, подростки, пожилые).

Библиографический список

1. *Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»*
2. Булатова В.А. Интеллектуальная автоматизированная система энергосбережения «Умный Дом» // Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск). Эпоха науки. 2015. С. 111.
3. Кадурина, М.С. Итерационная модель расчета фактического времени эвакуации людей при пожаре // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения Циолковского К.Э. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012.
4. Шихалев Д.В., Хабибулин Р.Ш. Математическая модель определения направлений безопасной эвакуации людей при пожаре // Академия государственной противопожарной службы. Безопасность. 2014. С. 51-60.
5. Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И., Смирнов В.И. Производственная и пожарная автоматика. Ч.2. Автоматические установки пожаротушения: Учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 298 с.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. N 304 г. Москва «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
7. Предупреждение и ликвидация ЧС. Методическое пособие издание второе. Москва 2003. Институт риска и безопасности.
8. Кадурина М.С. Итерационная модель расчета индивидуального пожарного риска // Сибирский федеральный университет.
9. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
10. Самошин Д.А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы // Безопасность людей при пожарах. №1. 2004. С. 33-43.

РАЗРАБОТКА АСУТП ВОДОСБРОСОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Темнохудов Д.Р., Куликов Е.С., Сазонова Г.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет»
Новокузнецк, Россия, danil.temnokhudov00@mail.ru, kulikov020400@mail.ru,
gsazonova53@icloud.com*

Аннотация. В статье приведено описание автоматизированной системы контроля уровня воды шламохранилища АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Система позволит контролировать уровень воды в водоемах в автоматическом режиме методом открытия/закрытия запорной арматуры, установленной на сифонных водосбросах. Техническая структура системы реализована на базе контроллера SIMATIC S7-1200.

Ключевые слова: АСУТП, гидротехнические сооружения, автоматический контроль, поддержание уровня воды.

Abstract. The article describes an automated water level control system of the sludge storage facility of JSC "EVRAZ ZSMK". The system will automatically control the water level in reservoirs by opening / closing valves installed on siphon spillways. The technical structure of the system is based on the SIMATIC S7-1200 controller.

Keywords: APCS, hydraulic structures, automatic control, water level maintenance.

Проектирование АСУ ТП (автоматизированной системы управления техническими процессами) необходимо для улучшения качественных и количественных показателей работы промышленных компаний. Внедрение процесса позволяет обеспечить полный

контроль производственных циклов, как отдельного подразделения, так и всего завода. Высокая актуальность АСУ ТП отмечается в отраслях со сложными техпроцессами и где сбои работы комплекса приводят к значительным финансовым потерям.

Объектами автоматизации являются гидротехнические сооружения, предназначенные для поддержания уровня воды в двух водоемах – в шламохранилище, так называемой «грязной» карте, и в пруду вторичного отстаивания, так называемой «чистой» карте.

Оба водоема находятся на территории Западно-Сибирского металлургического комбината.

Шламохранилище АО «ЕВРАЗ ЗСМК» предназначено для складирования отходов металлургического производства и углеотходов (шламов IV и V классов опасности), поступающих с ОФ КХП, Западно-Сибирской ТЭЦ - филиала АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (ЗС ТЭЦ), других цехов АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и сторонней организации – ОАО «ЦОФ «Кузнецкая» [1].

Существующий пруд вторичного отстаивания предназначен для осветления сточных вод из шламовой секции до требуемых показателей потребителями осветленной воды. Общая площадь пруда составляет 34 га, объем - 1,5 млн. м³. Пруд вторичного отстаивания примыкает к шламохранилищу с северной стороны и образован дамбой IV класса. Водоперепускным устройством в пруд вторичного отстаивания является сифонный водосброс максимальной производительностью 12,4 тыс. м³/ч. [1]

Уровни воды в гидротехнических сооружениях регулируются методом открытия/закрытия запорной арматуры, установленной на сифонных водосбросах. Для поддержания уровня используется ручной труд персонала ЦВСиВО, которые периодически (1 раз в смену) приезжают на служебном автотранспорте на удаленные объекты (гидротехнические сооружения) и вручную открывают/закрывают арматуру. Уровень определяется визуально по линейке. При этом отсутствует возможность контроля в режиме «on-line» за фактическим уровнем воды в СГТ и своевременного изменения объема сброса воды ввиду значительной территориальной удаленности объектов от постоянной дислокации персонала. В зимний период времени доступ до запорной арматуры осложняется не своевременной очисткой дорог, по которым может двигаться автотранспорт.

Требуется разработка проекта и его реализация с целью автоматического открытия/закрытия существующей запорно-регулирующей арматуры.

Целями создания системы являются:

- автоматическое регулирование уровня в «грязной» и «чистой» картах;
- дистанционное управление арматурой из диспетчерской;
- контроль уровня в «грязной» и «чистой» картах и положения задвижек;
- замена устаревших электроприводов задвижек;
- замена части запорной арматуры.

В проекте принимаются следующие технические решения:

1. Выпуск №1 (из «грязной» карты):

– выбор электроприводов для вновь устанавливаемой арматуры Ду800мм. (3 ед.) с контролем положения задвижек;

– расположение шкафа управления AZR522.1 во вновь устанавливаемом модульном здании по месту установки арматуры;

– подключение к ВОЛС корпоративной сети комбината от системы видеонаблюдения ПИХ.

2. Выпуск №2 (из «чистой» карты):

– замена существующих, устаревших электроприводов запорной арматуры Ду800мм. (2 ед.), на новые, с контролем положения;

– расположение шкафа управления AZR522.2 в объединенной насосной станции (ОНС);

– подключение к ВОЛС корпоративной сети комбината в помещении ОНС.

Объектом автоматизации в рамках внедрения системы являются:

- регулирующие шиберные затворы (5 шт.);
- уровнемеры (2 шт.).

Разрабатываемая система имеет трехуровневую иерархическую структуру построения:

-- первый уровень – это датчики, исполнительные механизмы. На этом уровне решаются задачи измерения параметров технологического процесса, передачи на уровень управляющего контроллера полученных значений, получение управляющих команд от программируемого контроллера на исполнительные механизмы.

-- второй уровень – уровень управляющих контроллеров. Включает в себя программируемый контроллер. Здесь централизованно решаются задачи сбора, обработки и контроля информации, полученной с первого уровня, формирование управляющих команд, а также организуется обмен данными с уровнем визуализации. Так же этот уровень служит источником данных для сервера долговременного хранения технологической информации;

-- третий уровень – визуализация технологического процесса. Интерфейс «технологический персонал – управляющая система» служит для сбора информации от систем первого уровня и ее отображения, а также передачи управляющих воздействий от технологического персонала.

Техническая структура АСУ ТП водосбросов СГТ приведена на рисунке 1.

Основная часть оборудования (контроллер, модули связи, блоки питания, бесконтактные пускатели и т.д.) размещается в телекоммуникационных шкафах.

Уровень воды в водоемах измеряется посредством уровнемеров УЛМ-11-Exd от компании ЛИМАКО. Уровнемер выбран в данном исполнении, так как способен выдерживать температуры до -50°C . Уровнемер связан с клеммной коробкой и с устанавливаемым вне взрывоопасных зон источником питания уровнемера электрическим кабелем.

Для контроля температуры и пожарной безопасности в шкафах установлен аналоговый преобразователь температуры с унифицированным выходным сигналом ТСМУ Метран-274.

Старые электроприводы заменяются на новые от компании АУМА, с импульсным перемещением, установкой в определенное положение и режимом позиционирования. Электропривод способен перемещать арматуру в любое положение на участке хода (полное открытие, промежуточное положение, полное закрытие).

Для бесконтактного реверсивного управления электродвигателями по командам «открыть» и «закрыть», выбраны пускатели ПБР-ЗИК-4. Данные пускатели позволяют управлять электроприводами с трехфазными асинхронными электродвигателями. Некоторые функции управления ПБР-ЗИК-4:

- остановка электродвигателя в крайних положениях рабочего органа арматуры по сигналам конечных или моментных выключателей;
- уплотнение рабочего органа арматуры при закрытии или открытии короткими импульсами;
- блокирование управления электроприводом при подаче команды «ЗАПРЕТ» на дискретные входы управления;
- торможение электродвигателя методом обратного включения;
- защитное отключение двигателя, формирование выходных сигналов «НЕИСПРАВНОСТЬ» и «ГОТОВНОСТЬ», индикация неисправности светодиодным индикатором: превышение тока силового коммутатора, обрыв цепей силового коммутатора, неисправность датчиков, перегрев двигателя, отсутствие или неправильное направление движения выходного вала электропривода и т.д.

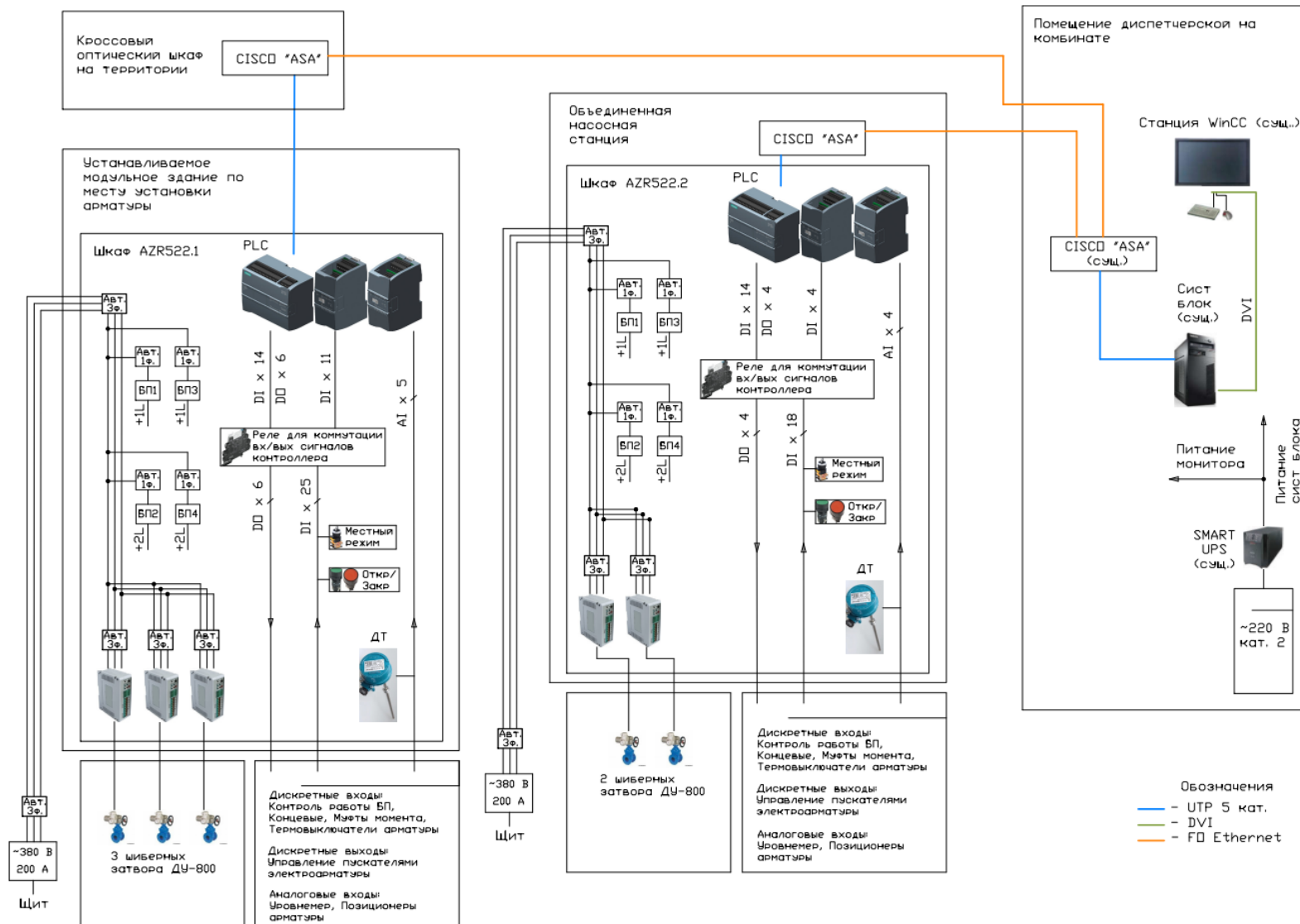


Рисунок 1 – Техническая структура системы АСУ ТП водосборов гидротехнических сооружений

Функции второго уровня автоматики АСУ ТП водосбросов СГТ реализованы на двух контроллерах SIMATIC S7-1200 с центральным процессором CPU 1215C. Система позволит выполнять заданный перечень информационных и управляющих функций, таких как:

- поддержание заданного уровня воды в гидротехнических сооружениях в рамках заданных параметров (уставок);
- обеспечение визуализации уровней;
- контроль температуры в шкафах управления;
- сигнализация критических параметров и предупреждающие сигналы при достижении контролируемых параметров.

Функции третьего уровня автоматики АСУ ТП водосбросов СГТ реализованы на существующей станции оператора WinCC в АБК ЦВСиВО. К верхнему уровню также относится ПК бригадира участка для удалённого мониторинга работы с возможностью анализа работы участка посменно, посуточно и ежемесячно.

Связь между контроллером и станцией оператора, станцией оператора и ПК бригадира реализована на основе протокола Ethernet.

В качестве системы управления базами данных (СУБД) используется MicrosoftSQLServer 2014.

С помощью MicrosoftSQLServer на сервере WinCC содержатся долговременные базы данных конфигурации и процессных данных, записываемых во время выполнения проекта (runtime).

Реализация функций разрабатываемой системы должна обеспечиваться при наличии следующих стандартных программных средств:

- уровень визуализации:
 - операционная система Windows 7;
 - пакет программирования WinCC версии 7.4;
- уровень управляющего контроллера – язык программирования контроллеров TIA Portal V16.

Режим функционирования системы – круглосуточный с периодическим техническим обслуживанием, совмещаемым с остановами объекта управления.

На всех уровнях функционирования системы предусмотрена диагностика:

- отказа и сбоев технических средств;
- сбоев системного и прикладного программного обеспечения;
- качества информации, вводимой в систему и хранимой в базах данных.

Функциональные возможности системы, структура комплекса технических средств позволят дальнейшее развитие системы.

Внедрение АСУ ТП приведет к улучшению следующих технико-экономических показателей работы поддержания уровня воды в двух водоемах:

- оптимизация численности технологического персонала станции;
- сокращение издержек на производство пожаро-хозяйственной воды;
- снижение себестоимости пожаро-хозяйственной воды собственного производства;
- возможность дистанционного управления арматурой из диспетчерской.

Библиографический список

1. ООО НИПЭЦ «Промгидротехника» Внесение изменений в проектную документацию "Корректировка проектной и рабочей документации шифр №1483 «Шламохранилище. Дамба». - Белгород: ООО НИПЭЦ «Промгидротехника», 2019.
2. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания.

3. РД 50-34.698-90 Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
4. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем.
5. ГОСТ 34.603-92 Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем.
6. СТО ИСМ 3-07-2017 Информационное обеспечение. Порядок заказа, разработки и внедрения автоматизированных систем.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Исаев Э.В., Михайлова О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, Россия, eduard-isaev-2000@mail.ru*

***Аннотация.** В работе оценивается современное состояние программно-инструментальных средств для управления поточно транспортной системой. Была определена цель: оценить состояние этих средств на основании таких показателей, как доступность использования, надежность и гибкость настройки. В результате исследования рассмотрены программные комплексы, позволяющие рассчитать и автоматизировать поточно-транспортные системы.*

***Ключевые слова:** автоматизация, управление, транспортировка, аппаратура, конвейер.*

***Abstract.** The paper evaluates the current state of software and tools for managing the flow transport system. The goal was defined: to assess the state of these tools based on indicators such as availability of use, reliability and flexibility of configuration. The main methods used: the method of analysis, an overview of information sources. As a result of the research, software complexes that allow calculating and automating flow-transport systems are considered.*

***Keywords:** automation, control, transportation, equipment, conveyor.*

Поточно транспортная система (ПТС) - называется комплекс механизмов технологического оборудования, устройств, предназначенных для обработки и транспортирования материалов, заготовок деталей и узлов машин или для сборки машин в едином непрерывном технологическом процессе.

В настоящий момент на шахтах Кузбасса происходит внедрение нового поколения пускового электрооборудования для конвейеров, которое не только позволяет существенно повысить экономическую эффективность работы подземного транспорта, но и сделать её более безопасной для горнорабочих. Существует большое количество видов аппаратуры автоматизированного контроля за работой шахтных конвейеров, но их работа в основном направлена на снижение последствий или предотвращение развития уже возникших аварий.

Контроль работы конвейера обеспечивают датчики (рисунок 1). Остановка ленты, поперечный ее разрыв и пробуксовка на приводе контролируются датчиком скорости 4, который устанавливают у приводной головки так, чтобы ролик датчика соприкасался с лентой по ее чистой стороне. Датчик представляет собой тахогенератор, который служит источником сигнала для реле скорости. Имеются реле скорости, контролирующие превышение скорости, что необходимо для бремсберговых конвейеров. Для профилактического контроля целостности тросов резинотросовых лент имеются устройства 5, позволяющие обнаружить участки повреждения тросов, определить частичное или полное нарушение их целостности с выдачей команды на отключение привода конвейера и подачу светового сигнала при обнаружении повреждения тросов, превышающего установленный предел. Устройство может быть снабжено регистрирующим самопишущим прибором, что дает возможность объективной оценки прочности ленты. Датчики контроля схода ленты 2

устанавливают с обеих сторон ленты у приводной и натяжной головок, а иногда и в средней части конвейера. Контактный датчик 1 контролирует завал перегрузочного устройства. Датчик температуры приводного барабана 3 помещается непосредственно в барабане и срабатывает при $t > 60 - 70^{\circ}\text{C}$.

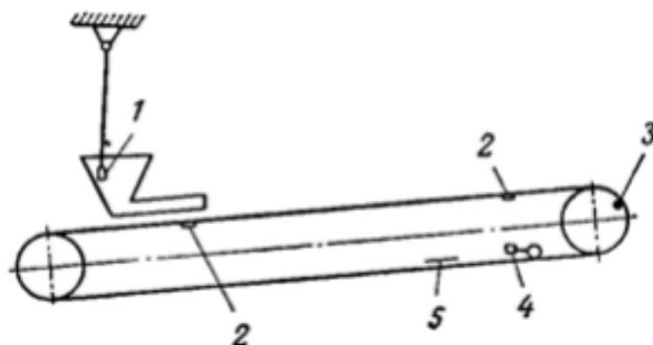


Рисунок 1 - Схема расположения датчиков автоматического контроля на конвейере

Для рассмотрения физических процессов при пусках конвейеров реальная механическая система может быть представлена упрощенной динамической моделью, в которой распределенные массы упругости и силы заменены эквивалентными сосредоточенными.

Программный комплекс (рисунок 2) состоит из двух информационно-расчетных блоков: блока тягового расчета ленточного конвейера, блока расчета динамических натяжений при пусковых и тормозных режимах ленточного конвейера с выдачей расчетной информации на экран ЭВМ.

Блок тягового расчета представляет собой программу, реализованную в программной среде Delphi. Структура данной программы состоит из трех окон, на которых последовательно демонстрируется выполненный определенный этап тягового расчета. Переход между окнами осуществляется при нажатии кнопок «Далее» и «Назад».

При первоначальном запуске комплекса, в главном окне программы необходимо указать исходные данные для расчета ленточного конвейера: производительность, ширина ленты и ее тип, угол наклона и другие параметры, необходимые для расчета.

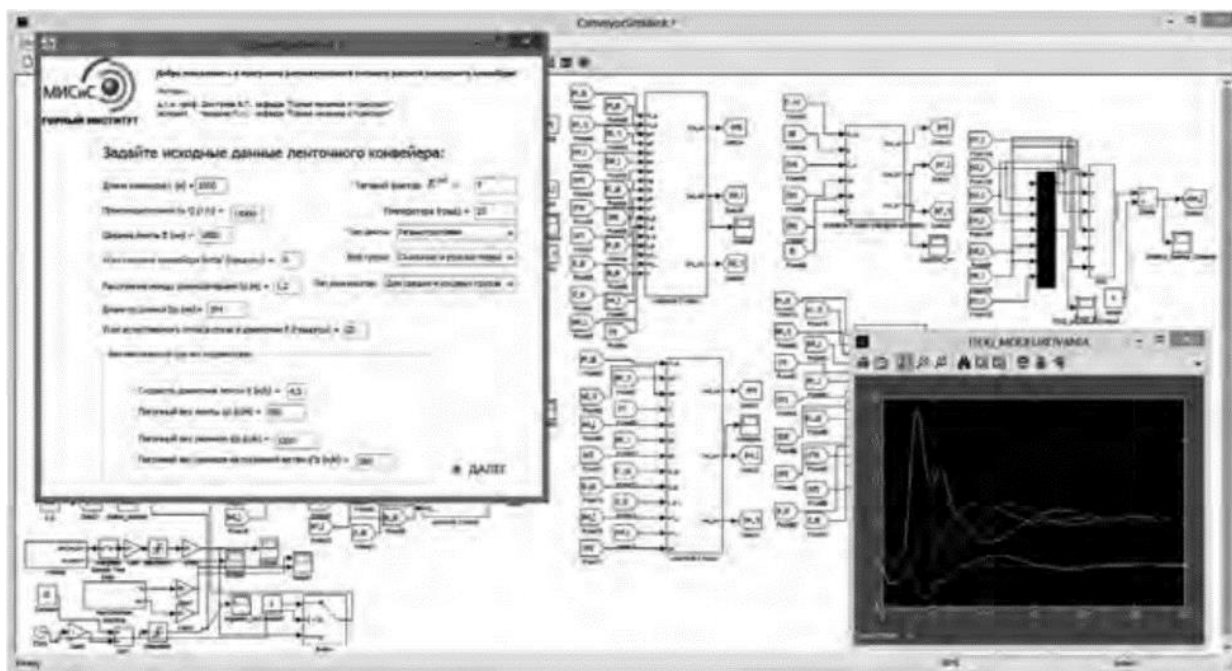


Рисунок 2 - Программный комплекс для тягового расчета и анализа пусковых и тормозных режимов ленточных конвейеров



Рисунок 3 - Основное окно программы тягового расчета ленточного конвейера

Здесь же в автоматическом режиме рассчитывается и выводится в окне скорость движения ленты, ее погонный вес, погонный вес роликов на порожней и грузовой ветвях.

Затем в следующем окне программы необходимо нажать кнопку «Выполнить расчет» после чего программой автоматически рассчитываются необходимые константы для грузовой и порожней ветвей, а также определяются ориентировочные коэффициенты сопротивления движению (рисунок 4).



Рисунок 4 - Окно уточненного тягового расчета первого блока программного комплекса

В качестве схемы ленточного конвейера, используется схема указанная в третьем окне программы, на которой изображается изменение статического натяжения по длине конвейера при принятых уточненных коэффициентах сопротивления движению и на грузовой и порожней ветвях. В расчете также учитывается сопротивление ЖЗАГ, возникающее в месте загрузки для загрузочного устройства стандартного вида – в виде загрузочной воронки с направляющими бортами, расположенными в хвостовой части конвейера.

В третьем окне программы также печатаются результаты расчета сил сопротивления движению на грузовой и порожней ветвях, силу сопротивления в месте загрузки, натяжения в характерных точках конвейера, рассчитанная мощность привода и уточненные коэффициенты сопротивления движению для дискретной модели расчета динамики ленточного конвейера (рисунок 5).

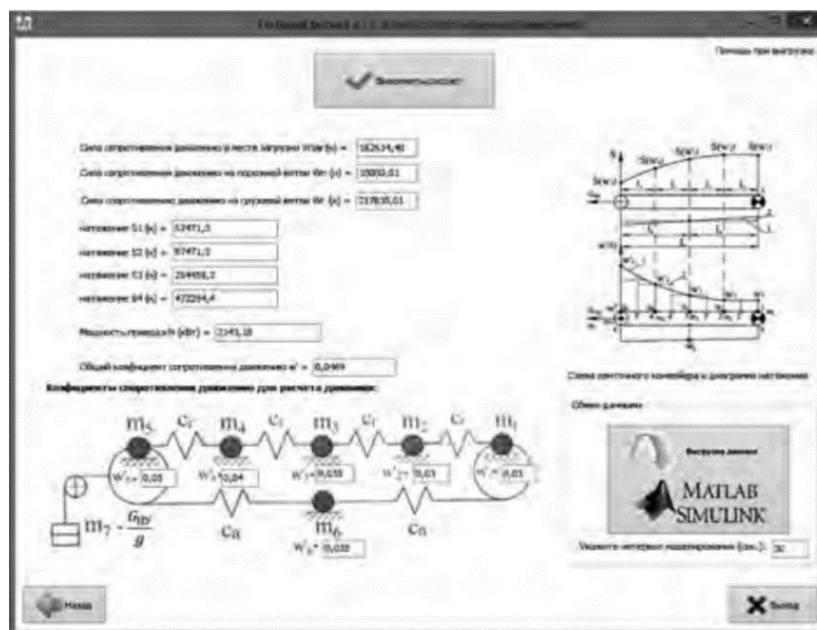


Рисунок 5 - Окно программы итогового тягового расчета ленточного конвейера

При желании пользователь может ограничиться только этим этапом расчета и рассчитать ленту на прочность, приняв коэффициент запаса $n = 10$ или $n = 7$ в зависимости от типа ленты.

Далее полученные итоговые значения коэффициентов сопротивления движению и другие необходимые константы загружаются в файл Matlab Simulink, где находится спроектированная дискретная модель ленточного конвейера. Осуществляется это нажатием соответствующей кнопки «Выгрузка данных в Matlab Simulink». Перед процессом загрузки в Matlab Simulink в программе возможно задать начальный интервал моделирования для последующего анализа динамики ленточного конвейера.

Способ передачи данных между блоками программы основан на технологическом стандарте COM (ComponentObjectModel) и базирующейся на этом стандарте технологии OLE Automation. Технология OLE Automation разработана для поддержки интерпретирующих языков. Она позволяет передавать данные от одного приложения к другому и возвращать результат работы обратно.

Информационно-управляющая система комплекса подачи шихты обеспечивает возможность автоматизированного и дистанционного управления основными технологическими параметрами ПТС, для чего обеспечивается постоянный непрерывный сбор и обработка информации об технологических параметрах и состоянии оборудования, с дальнейшей передачей данной информации в SCADA систему. Схема автоматизации ПТС показана на рисунке 6.

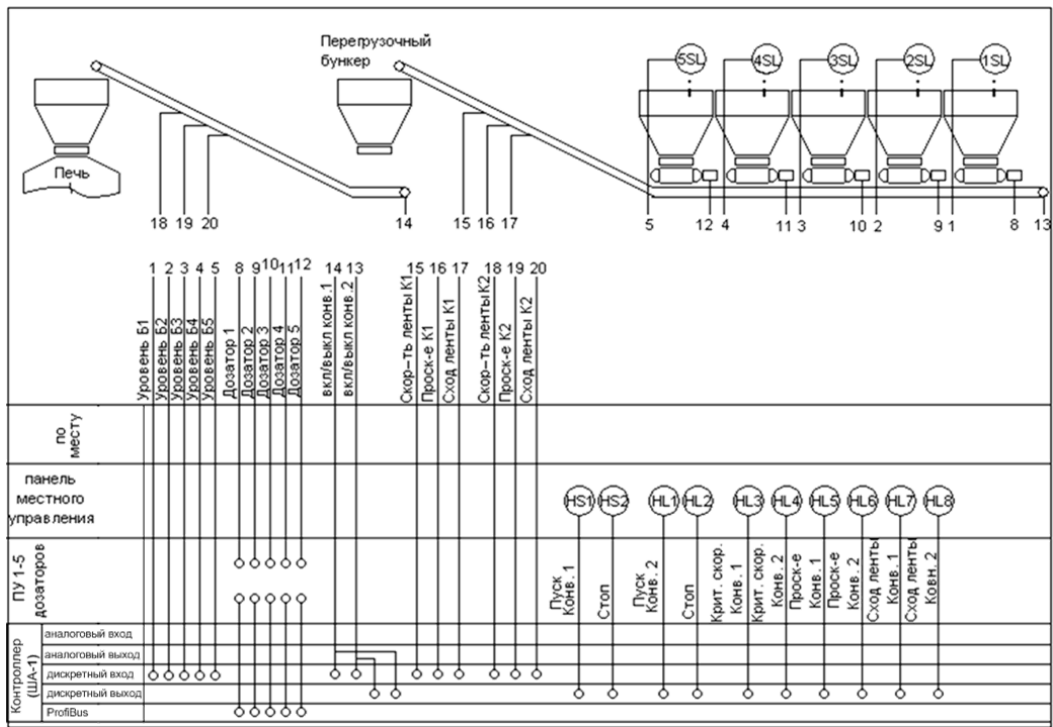


Рисунок 6 - Схема автоматизации ПТС

Вывод всех данных о состоянии объекта отражается на АРМе (автоматизированном рабочем месте) технолога, расположенный в помещении управления печью, в виде отдельной экранной формы (рисунок 7). Предусмотрена звуковая сигнализация и вывод соответствующего сообщения на экран технологу в случае возникновения аварийной ситуации или достижения контролируемым параметром критического значения.

Подсистема управления дозатором обеспечивает:

- 1) Режим непрерывного весового дозирования. Заданное значение производительности поддерживается путем регулирования скорости перемещения материала в зависимости от весовой нагрузки на транспортирующей ленте дозатора;
- 2) Режим калибровки. Осуществляется автоматическая запись веса тары и расчет поправочных коэффициентов канала измерения.

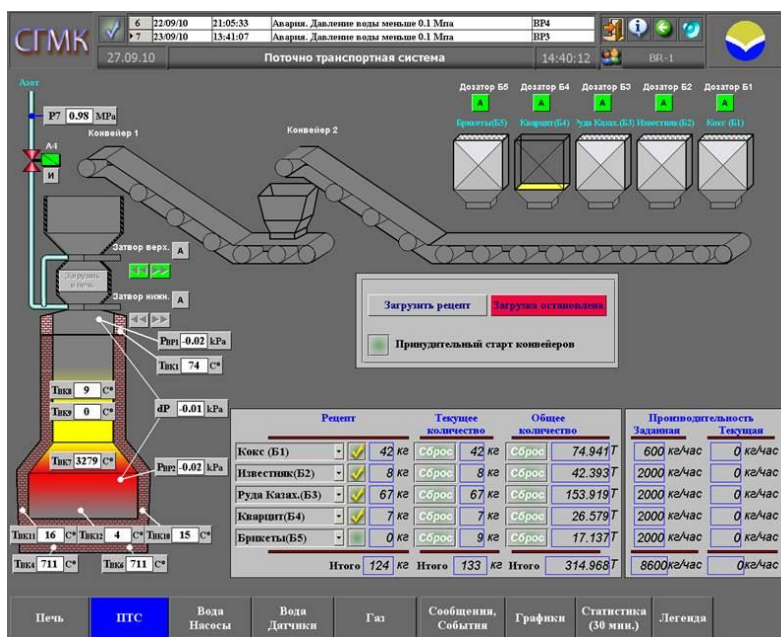


Рисунок 7 - Экран «Поточно-транспортная система»

Запуск системы осуществляется по команде технолога с АРМа. Перед началом запуска контроллером проверяется выполнение следующих условий:

- открыт верхний шибер загрузочного бункера шихты (данный параметр контролируется ИУС печи).
- компоненты поточно-транспортной системы находятся в рабочем состоянии (отсутствуют сигналы блокировок из ПТС)

Современное состояние программно-инструментальных средств для управления поточно транспортной системой позволяет говорить о надежном, безотказном и простом управлении над объектом.

Пользователь, руководствуясь методическими источниками, способен с помощью этих программ проводить расчеты, диагностику в реальном времени технического состояния конвейеров, реализовывать необходимые алгоритмы управления для эксплуатации автоматизированных поточных технологических процессов.

Библиографический список

1. Муратов Г.Г., Махамаджанов Р.К., Жураев А.Ш. Автоматизация управления поточно-транспортными системами // Вопросы науки и образования. 2018. №27 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-upravleniya-potochno-transportnymi-sistemami> (дата обращения: 25.02.2021).

2. Муратов Г.Г., Жураев А.Ш., Махамаджанов Р.К., Маткасимова Ш.Ш.К., Абдуназарова Д.Ю. Усовершенствование схем автоматизации ленточных конвейеров в горных предприятиях // Наука, техника и образование. 2018. №6 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usovershenstvovanie-shem-avtomatizatsii-lentochnyh-konveyerov-v-gornyh-predpriyatiyah>(дата обращения: 25.02.2021).

3. Герусов А.И., Бычков С.В. Автоматизированная система регулирования скорости ленточных конвейеров, как средство повышения безопасности их эксплуатации // Вестник Научного центра. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-regulirovaniya-skorosti-lentochnyh-konveyerov-kak-sredstvo-povysheniya-bezopasnosti-ih-ekspluatatsii> (дата обращения: 25.02.2021).

4. Павлов В.Е. Исследование режимов пуска электропривода ленточного конвейера методом компьютерного моделирования // Вестник ИрГТУ. 2018. №4 (135). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rezhimov-puska-elektroprivoda-lentochnogo-konveyera-metodom-kompyuternogo-modelirovaniya> (дата обращения: 25.02.2021).

5. Дмитриев В.Г., Чередник П.Н. Программный комплекс для тягового расчета и анализа пусковых и тормозных режимов ленточных конвейеров // ГИАБ. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnyy-kompleks-dlya-tyagovogo-rascheta-i-analiza-puskovyh-i-tormoznyh-rezhimov-lentochnyh-konveyerov> (дата обращения: 25.02.2021).

6. Информационно-управляющая система «Опытно-промышленной плазменной печи, газоочистки и шихтоподачи» // Сибирский государственный индустриальный университет URL: <https://vunivere.ru/work50495>.

ПОСТРОЕНИЕ АСУТП НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Куликов Е.С., Сазонова Г.А., Темнохудов Д.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kulikov020400@mail.ru, gsazonova53@icloud.com
danil.temnokhudov00@mail.ru*

Аннотация. В статье приведено описание автоматизированной системы контроля уровня воды с использованием новых технологий. Рассматриваются основные положения построения АСУ ТП посредством концепции ИИТ. Техническая структура системы реализована на концепциях промышленной революции 4.0.

Ключевые слова: АСУТП, Промышленный Интернет вещей, автоматический контроль, промышленная революция 4.0.

Abstract. The article describes an automated water level control system using new technologies. The main provisions of the construction of an automated process control system using the IIoT concept are considered. The technical structure of the system is based on the concepts of Industrial Revolution 4.0.

Keywords: APCS, Industrial Internet of Things, automatic control, industrial revolution 4.0.

Объектами автоматизации являются гидротехнические сооружения, предназначенные для поддержания заданного уровня воды в водоемах. Два водоема находятся на территории Западно-Сибирского металлургического комбината, и достаточно удалены от центра управления, поэтому прокладка кабеля от шкафов управления задвижками до помещения диспетчерской на комбинате станет невыгодным предприятием. Ввиду этого, рассмотрим систему дистанционного контроля и управления регулирующими шиберными затворами посредством новой концепции вычислительной сети физических предметов ИИТ.

Данная концепция построения АСУ ТП позволит удаленно управлять технологическим процессом водосбросов гидротехнических сооружений.

Промышленный Интернет вещей (англ. Industrial Internet of Things, ИИТ) – это система объединенных компьютерных сетей и подключенных к ним промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека.

Процесс выглядит так: с датчиков получаем сигналы, обрабатываем их (загружаем в Big Data – структурированные и неструктурированные данные, характеризующиеся тремя понятиями: объем, скорость и многообразие), реализуем предиктивный анализ (предсказывание с помощью, например, искусственных нейронных сетей – по факту, математические модели, созданные по аналогии с биологическими нейронными сетями. Искусственный интеллект или искусственные нейронные сети способны моделировать и обрабатывать нелинейные отношения между входными и выходными сигналами) и управляем исполнительными механизмами, основываясь на показаниях, полученных с датчиков.

Типовая архитектура ИИТ-систем состоит из следующих 3-х уровней (рисунок 1):

Конечные устройства (вещи, Things) – датчики, сенсоры, контроллеры и прочее периферийное оборудование для измерения необходимых показателей и передачи этих данных в сеть по проводным или беспроводным протоколам (Serial, RS-485, MODBUS, CAN bus, OPC UA, BLE, WiFi, Bluetooth, 6LoRaWAN, Sigfox и пр.). Поскольку каждая «порция» этой информации невелика по объему, такие данные называют малыми (Little Data).

Сетевые шлюзы и хабы (Network) – роутеры, которые объединяют и подключают конечные устройства к облаку.

Облако (Cloud) – удаленный сервер в датацентре, обрабатывающий, анализирующий и надежно хранящий информацию. Именно здесь малые данные превращаются в Big Data, когда консолидируется множество информационных потоков с различных устройств. Так интернет вещей становится «интеллектуальным», поскольку подключают-

ся средства анализа данных, в т.ч. с использованием методов машинного обучения (Machine Learning). Это позволяет эффективно и удаленно управлять техникой, на которой установлены конечные устройства. Например, если датчики уровня вибрации оборудования показывают превышение допустимых значений, можно заранее спланировать профилактический ремонт и избежать поломки дорогостоящих инструментов.

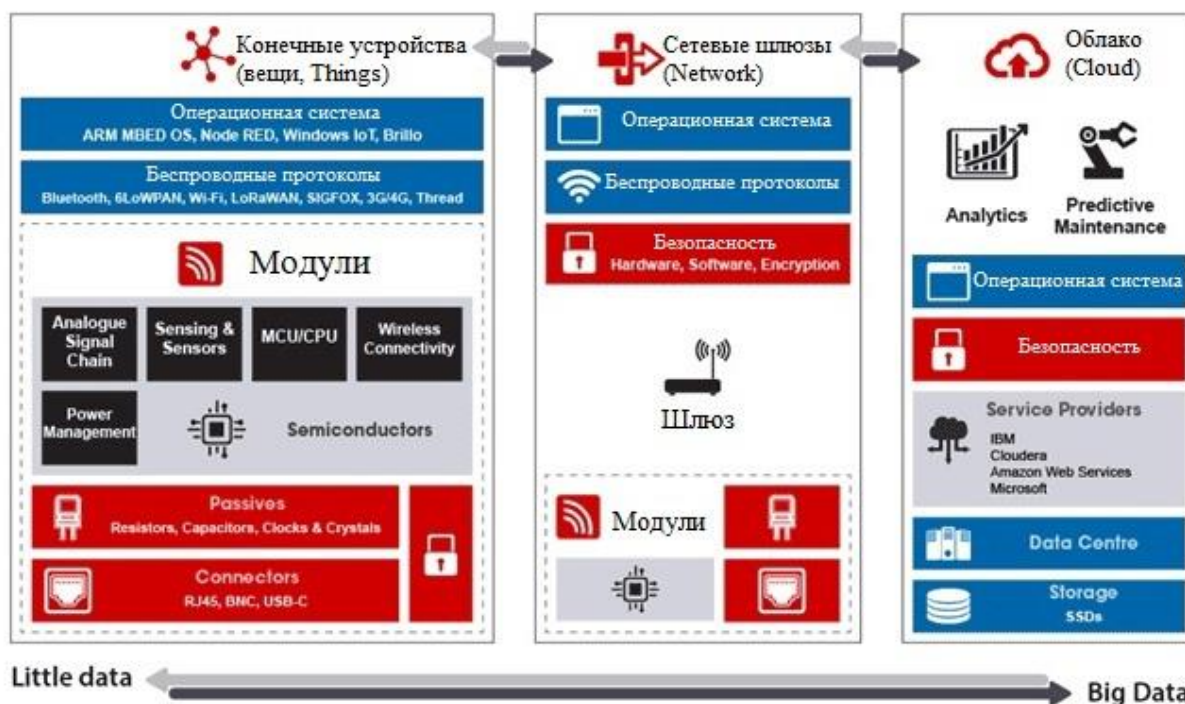


Рисунок 1 - Архитектура IoT-систем

Как правило, в промышленном IoT отсутствует прямой доступ к конечным устройствам, поэтому для соединения уровней технологического оборудования и интеллектуальных систем обработки и хранения информации используются шлюзы (рисунок 2) [1].

Конечные устройства являются источниками данных с низкой вычислительной мощностью, которые непрерывно передают на шлюз множество информации различного формата. Датчик конечного устройства формирует аналоговый сигнал, который преобразуется в цифровое (дискретное) значение с помощью АЦП – аналого-цифрового преобразователя. Это значение маркируется меткой времени и классифицируется (тегируется) локальным процессором конечного устройства. Теги могут быть простыми, например, обнаружено движение, или сложными, из нескольких параметров (движение + скорость, движение + скорость + автомобиль и пр.). Чем сложнее тег, тем более мощным должен быть периферийный процессор и энергопотребление конечного устройства. Однако, более информативные теги позволяют сократить количество передаваемых данных в облако и полосу пропускания информации, а это, в свою очередь, увеличивает скорость реакции на событие [2].

Шлюз, в свою очередь, отправляет данные в облачный кластер, где развернута программная IoT-платформа на базе средств Big Data для обработки и интеллектуального анализа информации.

На облачном сервере данные от различных периферийных устройств интегрируются (суммируются по тегам), систематизируются и анализируются с применением Machine Learning и других методов искусственного интеллекта. Результаты интеллектуального анализа данных визуализируются в виде графиков, диаграмм и пр., отображаясь в витринах (дэшбордах) пользовательского интерфейса IoT-платформы [2].



Рисунок 2 – Передача информации с конечного устройства в облако

Однако, интернет вещей предполагает не только передачу информации с технологических объектов, но и удаленное управление ими (рисунок 3). Поэтому реализуется обратная связь от облачной IoT-платформы к периферийному устройству управления необходимым объектом, например, задвижкой на трубе и пр. Для этого в облаке реализуется виртуальное представление периферийного устройства, куда записывается необходимая информация по изменению его состояния, а затем передается на исполнительное устройство конечного оборудования. При этом периферийный процессор выполняет распознавание тегов и ЦАП, т.е. обратное цифро-аналоговое преобразование – из дискретного значения в аналоговую форму.

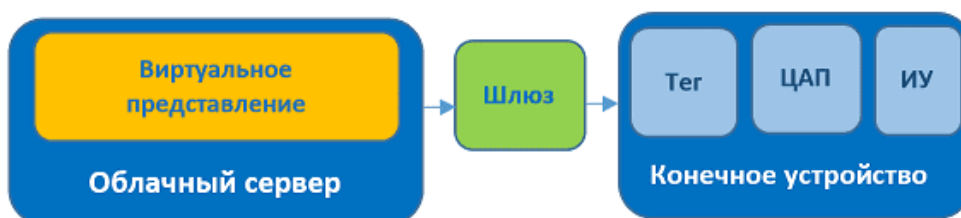


Рисунок 3 - Передача данных с IoT-платформы на конечное устройство

Приведем техническую структуру системы АСУ ТП водосброс гидротехнических сооружений в концепции IIoT, где объектами автоматизации в рамках внедрения системы являются: регулирующие шибберные затворы (5 шт.).

Самая обычная запорная арматура электропривод с шибберной заслонкой на 800 мм. Сигналы с электропривода делятся на входящие (фаза и напряжение на ЭП) и исходящие (концевые датчики – крайние положения затвора, муфта моменты – случае заклинивания либо самого ЭП, либо заслонки, датчики хода).

1. пускатели бесконтактные реверсивные (5 шт.);
2. уровнемеры (2 шт.);
3. датчик температуры (2 шт.);
4. модуль связи (приёмопередатчик, использующий сети операторов для передачи и приёма информации) (2 шт.).

В настоящее время уже есть уровнемеры и датчики температуры, работающие от сети. Например, мы можем взять самый обычный датчик температуры, который используют в «умных» домах: они подходят по диапазону температур в данной системе, относительно не дорогие по сравнению с промышленными термопарами или термометрами сопротивления, их можно проложить в любом месте (датчик может представлять из себя обычный щуп с модулем сети). Тоже самое с уровнемерами фирмы Dolphin.

Система будет двухуровневой иерархической (рисунок 4).

Уровень 0 – представляет собой уровень датчиков и запорной арматуры.

Уровень 1 – частное облако предприятия с серверами, на которых будут производиться все необходимые вычисления и формирование управляющих сигналов.

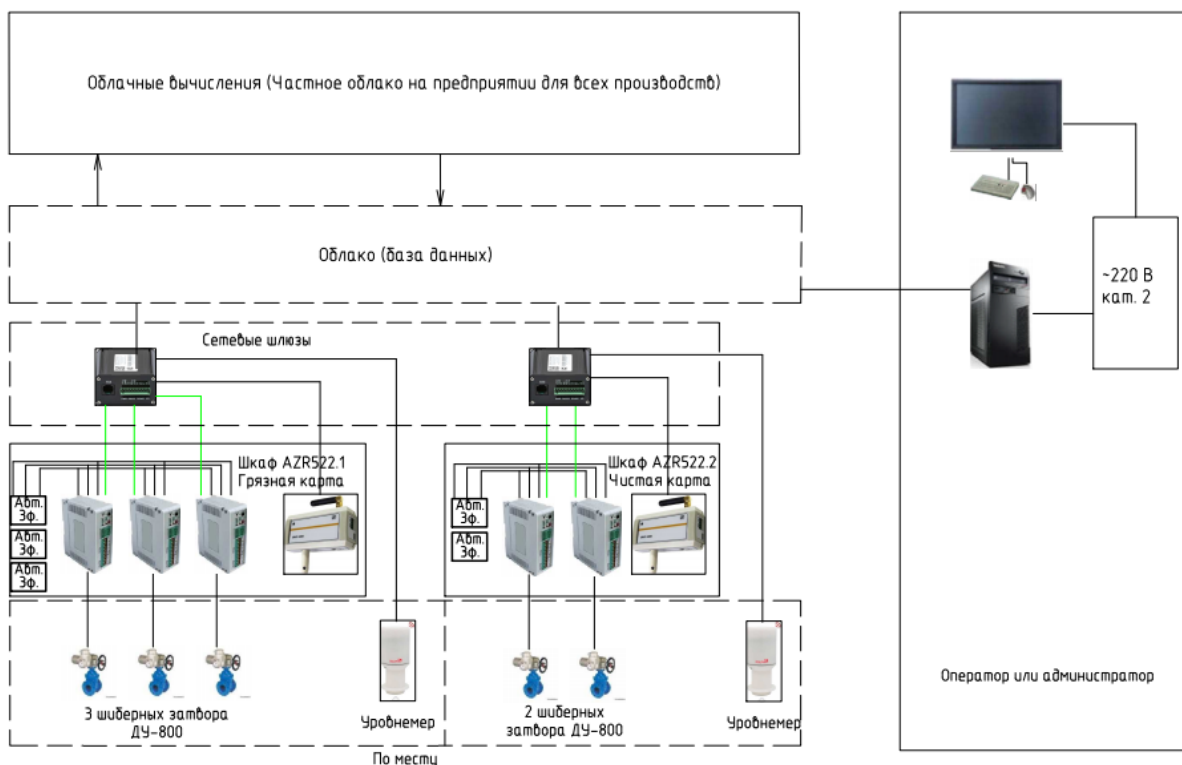


Рисунок 4 – Техническая структура системы

Самым лучшим решением будет формирование одного большого облака для всего предприятия. В нем будут обрабатываться сигналы с разных производств, то есть это позволит перевести все технологические процессы на новый уровень. Конечно это несет в себе определенный риск конфиденциальности данных или всей организации в целом. В связи с этим необходимо будет продумать службу безопасности.

В целом, система уйдет от лишней громоздкости, связанной с прокладываем проводки и защиты контроллера. Так же не потребуется дополнительная защитная аппаратура (реле, автоматы, клеммные колодки и другое).

Библиографический список

1. Как построить IoT архитектуру своими руками // Хабр URL: <https://habr.com/ru/company/itsumma/blog/415933/> (дата обращения: 10.11.2021).
2. IoT архитектура — первый взгляд под капот // Хабр URL: <https://habr.com/ru/post/420173/> (дата обращения: 10.11.2021).
3. IoT архитектура // Хабр URL: <https://habr.com/ru/post/455377/> (дата обращения: 10.11.2021).
4. 12 УРОВНЕЙ ИОТ-АРХИТЕКТУРЫ: ОТ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ДАТЧИКОВ ДО АНАЛИТИКИ BIG DATA // Школа больших данных URL: <https://www.bigdataschool.ru/blog/iiot-architecture-levels-and-tools.html> (дата обращения: 10.11.2021).
5. ИОТ ИЛИ АСУ ТП? // Диплайн URL: <http://diplinegroup.ru/novosti/iiot-ili-asu-tp.html> (дата обращения: 10.11.2021).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Сергушин К. В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, sergushinkirill@gmail.com*

Аннотация. В данной работе проанализирована система ведения баз данных проблем и опасных производственных ситуаций, возникающих на разных объектах угольной шахты. Разработана структура взаимодействия приложений, веб-сервера и баз данных. Выбраны программные средства для разработки связи. Разработано программное и информационное обеспечение для модернизации системы «Статистика безопасности-3».

Ключевые слова: автоматизация, программирование, Java, Spring Framework, Android, SQL, SOAP.

Abstract. This paper analyzes the system for maintaining databases of problems and hazardous production situations presented at different facilities of a coal mine. A mechanism for interaction between applications, web server and databases has been developed. Selected software for communication development. Software and information support was developed for the modernization of the «Security Statistics-3» system.

Keywords: automation, programming, Java, Spring Framework, Android, SQL, SOAP.

В современном мире большинство промышленных объектов обладает внушительными размерами и содержит в себе множество агрегатов и различных систем. В таких сложных комплексах неизбежно возникает большое количество неполадок и неисправностей, требующих своевременного исправления, поэтому возникает необходимость сбора информации о неполадках и каталогизации этих данных.

Часто для этих целей используются стенды с записями об аварийных ситуациях, однако такая реализация контроля за аварийными ситуациями имеет недостатки. Например, отсутствует систематизированное хранение данных, а также быстрый сбор, обработка, доступ к архивным и действующим записям. Такой подход не предполагает автоматизированного решения. Однако уже сейчас есть организации, пересматривающие свои методы управления технологическими и производственными рисками и применяющие современные технологии для автоматизации данного процесса. Одной из компаний, разрабатывающих системы автоматизации управления производственными рисками, является «ООО Тензор».

На угольных предприятиях время от времени неизбежно возникают проблемы со средствами автоматизации, такие как сбой датчиков, неполадки в контроллерах, отказ исполнительных механизмов. Расширение шахт является обычным делом, при котором довольно часто не успевают в полной мере расширить автоматическую систему мониторинга, поэтому для неё и диспетчеров остаются невидимыми некоторые неполадки и аварийные ситуации. В прошлом подобные обстоятельства приводили к таким трагедиям, как авария на шахте Ульяновская. В таких ситуациях только люди на местах способны контролировать и сообщить о проблемах. Возникает необходимость в процессе сбора данных об аварийных ситуациях и контроля за исполнением мероприятий по их устранению на предприятиях горнодобывающей промышленности.

На предприятии ООО «Тензор» была разработана система «Статистика безопасности-3», которая ведет базу данных таких проблем и других опасных производственных ситуаций, возникающих на разных объектах угольной шахты. В этой базе содержатся сведения:

1. о дате возникновения опасной ситуации;
2. о месте возникновения опасной ситуации (участок, выработка);

3. о статусе ситуации в ходе исполнения мероприятий по устранению опасной ситуации;
4. описание ситуации;
5. о примерной дате выполнения мероприятия по устранению опасной ситуации.

Система «Статистика безопасности-3» делится на два модуля: поверхностный и подземный. Поверхностный модуль, как ясно из названия, устанавливается на поверхностном компьютере, имеет серверную базу данных, но не имеет средств для сбора данных с подземных объектов в режиме реального времени. Подземный модуль устанавливается на мобильное устройство (планшет или телефон), имеет локальную базу данных и средства сбора данных на месте, но не имеет средств для передачи данных на поверхность в реальном времени. Работник шахты берет мобильное устройство с собой в шахту и на месте фиксирует нарушения, с помощью приложения вводя данные о нарушении в локальную базу данных.

При разработке базы данных для поверхностного компьютера было предусмотрено получение входной информации при регистрации новых аварийных ситуаций, наименование участков и связанные с ними локации, где выявлена неисправность, получение входной информации при изменении статуса уже выявленной аварийной ситуации, добавлены статусы аварийных ситуаций, используемые в программе и основные данные об аварийных ситуациях, отображающиеся в программе.

Структура системы показана на рисунке 1:

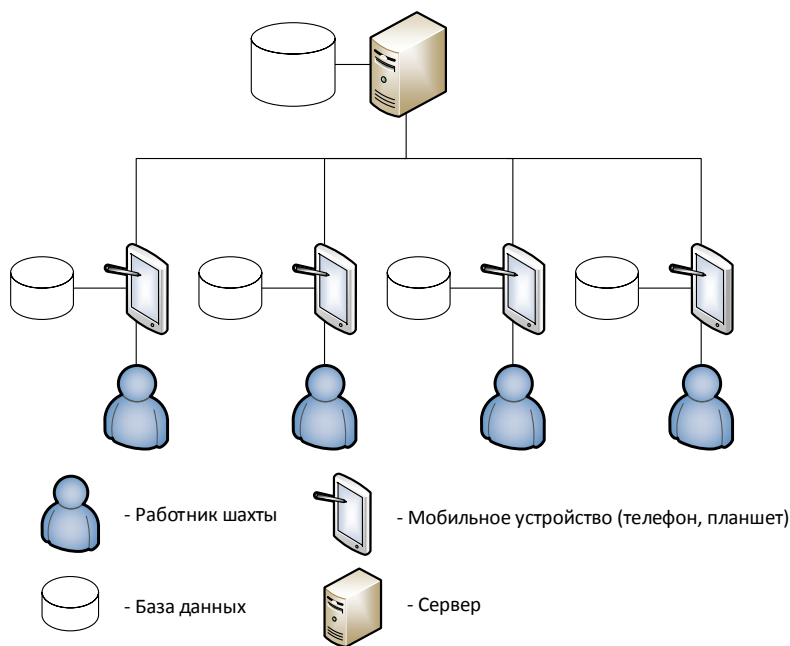


Рисунок 3 – Общая структура системы «Статистика безопасности-3»

Автоматизированная система «Статистика безопасности-3» обладает существенным недостатком, а именно: отсутствие прямой связи между поверхностным модулем и подземным модулем, позволяющей обмениваться данными через сеть. Вместо этого данные приходится переносить вручную.

Для создания связи между поверхностным и подземными приложениями был разработан веб-сервис, посредник между мобильным приложением с локальной базой данных и серверной БД. Также дополнен функционал мобильного приложения для взаимодействия с веб-сервером.

В мобильное приложение были добавлены следующие функции:

1. Извлечение данных, которые были добавлены, из локальной БД, и отправка их веб-сервису по нажатию кнопки, при наличии интернет-связи. Тем самым инициируется

обмен данными с веб-сервером.

2. Принятие данных, приходящих от веб-сервиса, снос и пересоздание БД с актуальной информацией от серверной БД.

В свою очередь в задачи веб-сервиса входят такие, как:

1. Принятие данных от локальной БД, и внесение их в серверную БД.
2. Извлечение всех данных из серверной БД и отправка обратно локальному приложению.

Для осуществления разработки автоматизированной системы передачи данных использовались следующие технологии:

1. Язык программирования Java для разработки ПО.
2. Фреймворк Spring.
3. Система автоматической сборки Gradle.
4. Протокол обмена сообщениями SOAP.
5. JDBC – стандарт и драйвер для работы с БД.
6. Среды разработки Android Studio и Eclipse.

На стороне мобильного приложения был создан отдельный пакет классов, участвующих в обмене данных через сеть. Данный пакет содержит следующие классы:

1. `WebActivity`, отвечает за обмен данными с веб-сервисом и функционирование страницы приложения «Веб». Наследует класс `AppCompatActivity`.

2. `Table`, класс объектов, представляющих собой таблицу данных. Наследует класс `java.util.Vector` и имплементирует интерфейс `org.ksoap2.serialization.KvmSerializable` для сериализации объекта в XML. Хранит в себе объекты класса `Row`.

3. `Row`, класс объектов, представляющих собой строку таблицы. Как и класс `Table`, тоже наследует класс `java.util.Vector` и имплементирует интерфейс `org.ksoap2.serialization.KvmSerializable` для сериализации объекта в XML. Хранит в себе строковые (`String`) данные.

Так как объекты классов `Table` и `Row` будут передаваться в формате XML, они должны быть сериализуемыми, т.е. переводимыми из одного формата в другой. Сериализация `java`-объектов в XML уже предусмотрена в библиотеке `ksoap2`. Чтобы класс можно было сделать сериализуемым, он должен имплементировать интерфейс `KvmSerializable` и иметь 4 переопределенных метода: «`getProperty`», «`setProperty`», «`getPropertyCount`», «`setPropertyInfo`».

1. Метод «`getProperty`» - возвращает значение определенной по номеру переменной объекта.

2. Метод «`getPropertyCount`» - возвращает количество переменных объекта.

3. Метод «`setProperty`» - задает значение определенной по номеру переменной объекта.

4. Метод «`setPropertyInfo`» - задаёт информацию о переменной (поле имен (`namespace`), название, тип переменной и значение переменной). Пример данного метода из класса «`Table`» изображён на рисунке 2.

Класс `WebActivity` отвечает за всё, связанное с обменом данными с веб-сервером. Именно в нём прописана логика передачи данных. Класс взаимодействует с пользователем через страницу «Веб» в человеко-машинном интерфейсе мобильного приложения (рисунок 3).

При нажатии на кнопку «Веб» в главном меню пользователь переходит в новую страницу, в которой имеются такие элементы, как текст (`TextView`), выпадающий список пользователей (`Spinner`), поле для ввода пароля (`EditText`) и кнопка для отправки данных (`Button`). В этом меню пользователь может выбрать логин из выпадающего списка и ввести пароль для доступа в серверную базу данных, после чего нажать на кнопку «Отправить данные» (рисунок 4).

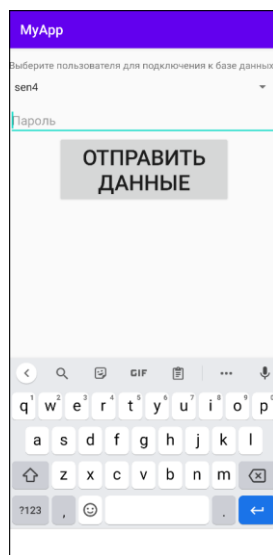


Рисунок 4 – Внешний вид страницы «Веб» мобильного приложения

При нажатии на кнопку «Отправить данные» с помощью экземпляра класса «HttpTransportSE» на веб-сервис отправляется запрос на обмен данными. Если веб-сервер получил запрос, он отправит ответ в виде SOAP-конверта, содержащего в себе данные из серверной базы данных.

Веб-сервис был разработан в среде разработки Eclipse при помощи фреймворка Spring. Проект веб-сервера имеет название «DBWebService» и содержит в себе 3 основных класса объектов и несколько вспомогательных классов:

1. DbWebServiceApplication, main-class, с которого запускается приложение.
2. WebConfig, содержит в себе настройки веб-сервиса.
3. WebEndpoint, обрабатывает входящие SOAP-сообщения и отправляет ответные.

Вспомогательные классы:

1. DataExchangeRequest, класс объектов, в которые сериализуют SOAP-запросы.
2. DataExchangeResponse, класс объектов, которые сериализуются в SOAP-ответ;
3. Row, объектное представление строки таблицы;
4. Table, объектное представление таблицы.

Класс «WebEndpoint» отвечает за взаимодействие с мобильным приложением и серверной базой данных на поверхности. Имеет несколько методов.

Метод «dataExchange», который запускается, когда мобильное приложение присылает запрос на обмен данными. Вносит присланные данные в серверную базу данных, извлекает данные из серверной базы данных и отправляет их в ответ в виде экземпляра класса «DataExchangeResponse» (рисунок 5).

Метод «getUsers» срабатывает, когда от мобильного приложения приходит запрос на получение списка пользователей, имеющих доступ к базе данных. Извлекает этот список из серверной базы данных и отправляет в ответ в виде экземпляра класса «GetUsersResponse» (рисунок 6).

Метод «getResponse», вспомогательный метод, извлекающий данные из серверной базы данных и упаковывающий их в объект класса «DataExchangeResponse».

Метод «getTable» - вспомогательный метод, который заполняет экземпляры класса «Table» данными.

Таким образом, с помощью языка программирования Java и протокола SOAP связь между поверхностным модулем и подземным системы «Статистика безопасности-3» обеспечена. Данная модернизированная система с внедренными изменениями введена в эксплуатацию.

Библиографический список

1. Филлипс Б. «Android. Программирование для профессионалов» / Б. Филлипс К. Стюарт, К. Марсикано – П.: Питер СПб, 2017. – 688 с.
2. Филиппов В.А. «Информационные взаимодействия и Web-сервисы» / В.А. Филиппов – М.: Ленанд, 2009. – 144 с.
3. Меджуи М. «Непрерывное развитие API. Правильные решения в изменчивом технологическом ландшафте» / М. Меджуи, Э. Уайлд, Р. Митра, М. Амудсен – П.: Питер, 2020. – 272 с.
4. Молинаро Э. «SQL. Сборник рецептов» / Э. Молинаро – П.: Символ-Плюс, 2009. – 672 с.
5. Смирнов С. Н. «XML и JDBC. Практическое введение» / С. Н. Смирнов – М.: Гелиос АРВ, 2010. – 188 с.

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Прищепа Я.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, rovoreshka264@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается разработка физической модели вентиляционной системы главного проветривания угольной шахты под управлением программируемого логического контроллера OMRON SYSMAC CJ1M и платы управления Arduino UNO R3, которые работают по принципу "ведущий-ведомый", рассматриваются алгоритм и режимы работы данной вентиляционной системы. Данный научно-исследовательский комплекс позволит расширить функциональные возможности учебного процесса, повысить эффективность усвоения учебного материала.

Ключевые слова: автоматизация, исследовательский комплекс, вентиляционная система.

Abstract. The article discusses the development of a physical model of the ventilation system of the main ventilation of a coal mine under the control of the programmable logic controller OMRON SYSMAC CJ1M and the control board Arduino UNO R3, which operate on the principle of "master-slave", the algorithm and operating modes of this ventilation system are considered. This research complex will expand the functionality of the educational process, increase the efficiency of learning material assimilation.

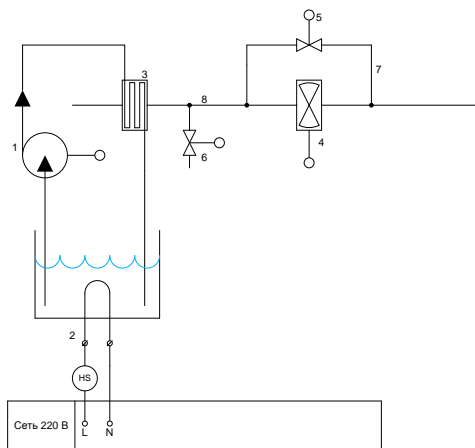
Keywords: automation, research complex, ventilation system.

В процессе обучения усвоение материала иногда бывает не таким эффективным. Для студента интереснее побывать на экскурсии какого-то предприятия, чтобы сформировалось дальнейшее представление о будущей профессии, ему лучше увидеть что-то материальное или даже потрогать, а не ТОЛЬКО СЛУШАТЬ «тонны» скучной теории и думать: «А где это мне пригодится, для чего мне это? Покажите мне, где это применяется и как, объясните мне на примере реального объекта, почему мне это нужно, заинтересуйте меня». Не всегда возможны практики подобного рода с посещением реальных систем, по причине опасности некоторых объектов, либо трудностей договора учреждений с организациями и предприятиями. Поэтому существуют и разрабатываются учебно-исследовательские комплексы и действующие макеты для демонстрации процессов происходящих в определенных объектах управления и регулирования. Это нужно чтобы заинтересовать студентов и увеличить эффективность обучения и усвоения ими учебного материала. Подобным научно-исследовательским комплексом и является физическая модель вентиляционной системы главного проветривания угольной шахты.

В результате предпроектного обследования объекта было выяснено, что он является набором различных материалов и технических средств автоматизации. В состав этого

набора входят: воздуховодная пластиковая труба, внутренние муфты с заслонками и внешние муфты для соединения труб, коленообразные каналы, Т-образные тройники, прозрачный шланг, жидкостный радиатор, осевой вентилятор, чайник, водяной центробежный насос, датчики термосопротивления для газообразных и жидких сред, нормирующие преобразователи, ПЛК, БП-трансформатор для ПЛК, дополнительная плата регулирования, модульные кнопки с подсветкой и без, соединительный провод, провода с вилкой, клемные пружинные колодки, низковольтный блок питания трансформатор постоянного тока, сервоприводы, набор реле.

Для наглядности далее представлена схема физической модели научно-исследовательского комплекса шахтной вентиляционной системы главного проветривания (далее НИК ШВС ГП), полученная на начальном этапе сборки на (рисунок 1).



- 1 –насос, 2 – водонагревательный прибор, 3 – радиатор, 4 – вентилятор, 5, 6 – поворотные заслонки, 7 – байпас, 8 – прямой канал (направление вправо со стороны радиатора)

Рисунок 1 – Техническая структура объекта после начальной сборки

После проведения некоторых слесарных работ над материалами, сборки объекта и монтажа технических средств автоматизации данный объект представляет собой систему пластиковых воздуховодов диаметром 100 мм, в который входят: основной канал с подводящим каналом и байпас. В байпасе и подводящем каналах установлены заслонки, приводящиеся в движение сервоприводами. В середине прямого канала установлен осевой вентилятор. Управление вентилятором производится при помощи реле. На пересечении основного и подводящего каналов установлен чувствительный элемент термометра сопротивления, там же на входе системы стоит водяной радиатор, обеспечивающий нагрев воздуха. В подсистему циркуляции нагретой воды входят: радиатор, чайник, центробежный насос, шланги соединяющие насос и радиатор, шланги на входе насоса и выходе радиатора. Регулирование температуры воды обеспечивается за счет датчика термосопротивления и реле включения, выключения чайника. Включение и выключение насоса, также, производится при помощи реле. Регулирование температуры воды обеспечивает регулирование температуры воздуха. На выходе основного канала ШВС установлен чувствительный элемент другого датчика термосопротивления, это требуется для выявления теплотерь при преодолении воздушным потоком расстояния всего основного канала и дальнейшей компенсации этих потерь.

При пуске ШВС в холодный сезон изначально происходит контроль температуры воды в чайнике и включение вентилятора. До достижения установленной температуры производится автоматическое управление ТЭНом чайника при помощи реле. По достижении требуемой температуры производится её автоматическое регулирование на заданном уровне и включение насоса, также при помощи реле. При запущенной ШВС доступно регулирование заслонок в байпасе и подводящем канале. Но при определенном сезоне работы ШВС: в теплый сезон возможно регулирование положения заслонок в байпасе и

подводящем канале, в холодный сезон доступно регулирование положения только заслонки в байпасе, подводящий канал закрыт. Также работа подсистемы циркуляции и нагрева воды доступна только при управлении ШВС в холодный сезон. Регулирование положения заслонок производится следующим образом: оператор при помощи HMI задает значение положение открытия заслонки в процентах, затем Device-Master управляет по интерфейсу RS-485 команду на Device-Slave, Device-Slave подает сигнал на сервопривод в соответствии со значением, заданным оператором, заслонка открывается на определенный процент. Принципиальная схема автоматизации представлена на рисунке 2.

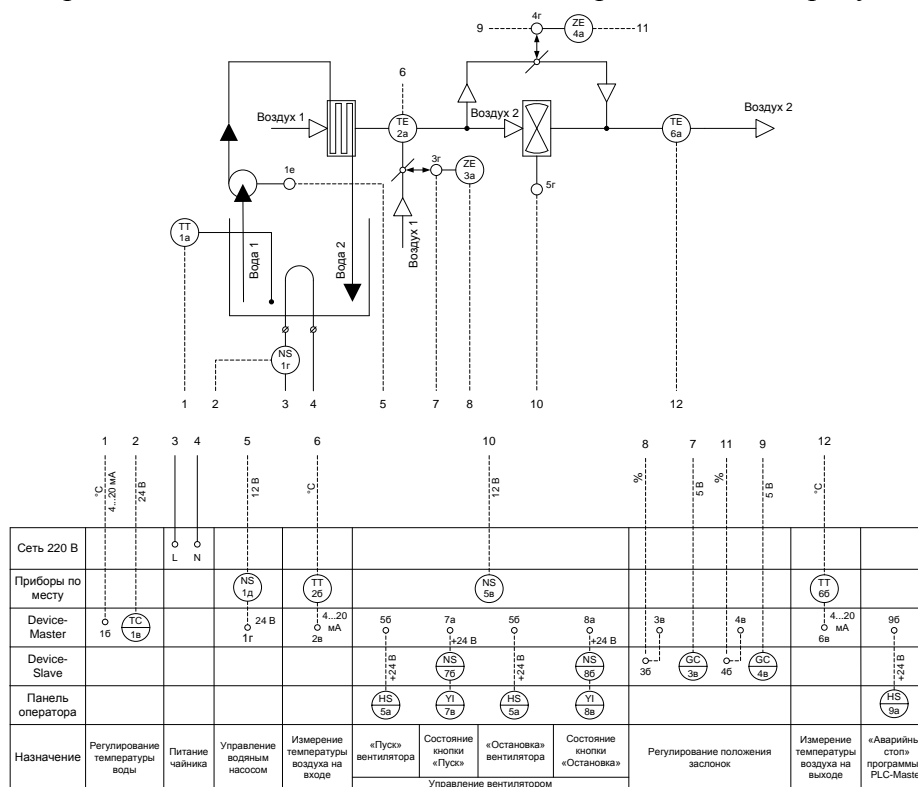


Рисунок 2 – Принципиальная схема автоматизации ШВС ГП

Пуск вентилятора и всей системы осуществляется нажатием на зеленую кнопку «Пуск». Нажатие кнопки «Пуск» сопровождается её подсвеченным состоянием за счет встроенного модуля подсветки и погасшим состоянием кнопки «Остановка», при нажатии которой происходят прямо противоположные операции. Нажатие кнопки «Остановка» приводит к ОСТАНОВКЕ ТОЛЬКО ВЕНТИЛЯТОРА, НО НЕ ВСЕЙ ШВС В ЦЕЛОМ, данную операцию выполняет красная грибовидная без модуля встроенной подсветки кнопка «Аварийный стоп», нажатие которой приводит к полной остановке циклически выполняющейся программы в Device-Master и блокировке кнопки «Пуск». Соответственно режим индикации состояний кнопок при запущенной ШВС сменяется на режим «Остановка».

Для управления ШВС используется контроллер фирмы OMRON, он же Device-Master следующей конфигурации:

- CJ1W-PD025 - Модуль питания 24 V DC, Output capacity: 5 A, 5 V DC;
- CJ1M-CPU13 - Модуль ЦПУ OMRON;
- CJ1W-ETN21 - Модуль связи EtherNet;
- CJ1W-CLK21-V1 - Сетевой модуль Controller Link;
- CJ1W-SCU41-V1 - Коммуникационный модуль 1x RS-232C + 1xRS-422/RS-485;
- CJ1W-TS562 - Вход для термосопротивлений (-200...650°C);
- CJ1W-AD081-V1 – Модул. входов для OMRON Analog Input Unit 8 inputs (1 to 5

V, 0 to 5 V, 0 to 10 V, -10 to 10 V, 4 to 20 mA);

- CJ1W-ID261 - Модуль входов для OMRON DC Input Units 24 V DC, 4.1 mA, 64 inputs, Fujitsu-compatible connector;

- CJ1W-OD231 – Модуль выходов для OMRON Transistor Output Units 12 to 24 V DC, 0.5 A, 32 outputs, sinking, Fujitsu-compatible connector;

- Блок питания трансформатор постоянного тока MEAN WELL, вход: 100-240V AC, выход: 12В DC;

- В качестве Device-Slave используется плата управления Arduino UNO R3;

- Преобразователь интерфейсов, приемопередатчик TTL-RS485, совместимый с Arduino;

- 4...20mA RTD PT100 датчик термосопротивления в едином металлическом корпусе с пластиковой коммутационной головкой, DC 24В;

- Два нормирующих преобразователя PT100 4...20mA, крепление на DIN-рейку;

- Два термометра сопротивления из нержавеющей стали RTD PT100 с тросом 2 м, 3-х проводные, сигнал ненормированный;

- Два сервопривода SG90;

- Зеленая кнопка с подсветкой, нормально-разомкнутая;

- Красная кнопка с подсветкой, нормально-замкнутая;

- Красная грибовидная кнопка аварийной остановки, нормально-замкнутая, без подсветки с возвратом поворотом;

- Пять реле с входным сигналом 24В, нагрузкой до 30В DC/ 250В AC;

- Электрочайник мощностью 1200 Вт, объемом 2л;

- Водяной центробежный насос 12V, 0.42A;

- Вентилятор осевой SXDOOL 80 мм.

Схема комплекса технических средств (далее КТС) и направления сигналов, а также принципиальная представлена на рисунке 3.

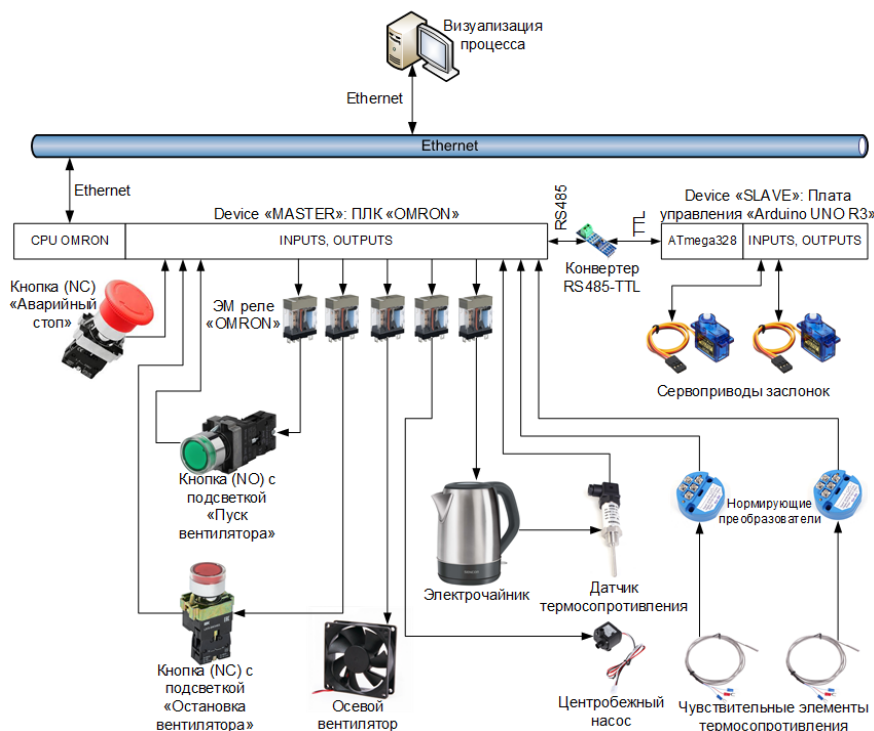


Рисунок 3 – КТС ШВС ГП

Разработка и создание данного НИК ШВС ГП связано с задачей увеличения эффективности обучения студентов путем увлечения их при помощи подобных физических моделей реальных объектов и формирования у них представления дальнейшей сферы де-

тельности, а также задачей тренировки студентов на данном комплексе и исследований протекающего процесса на объекте. В дальнейшем на примере данного комплекса студенты смогут изучать: системы управления, контроля и регулирования, технические средства автоматизации и принцип их работы, проектирование систем автоматизации, монтаж, программирование контроллеров.

Библиографический список

1. Погода в шахте: сайт. – URL: <https://coal-liza.livejournal.com/38015.html> (дата обращения: 10.11.2021). – Текст: электронный.
2. Байпас // Википедия. [2021]. Дата обновления: 24.02.2021. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=2516412&oldid=112590113> (дата обращения: 10.11.2021).
3. Радиатор // Википедия. [2021]. Дата обновления: 08.09.2021. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=120070&oldid=116531222> (дата обращения: 10.11.2021).
4. Циркуляция // Википедия. [2013]. Дата обновления: 14.03.2013. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=1264151&oldid=53536543> (дата обращения: 10.11.2021).
5. Вентилятор // Википедия. [2021]. Дата обновления: 16.09.2021. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=42197&oldid=116675028> (дата обращения: 10.11.2021).
6. Центробежный насос // Википедия. [2021]. Дата обновления: 30.04.2021. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=474300&oldid=113918880> (дата обращения: 10.11.2021).
7. Регулирование // Викисловарь. [2018 – 2018]. Дата обновления: 01.02.2018. URL: <https://ru.wiktionary.org/w/index.php?title=%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5&oldid=9612773> (дата обращения: 10.11.2021).
8. Контроль // Википедия. [2021]. Дата обновления: 07.07.2021. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=3464563&oldid=115340273> (дата обращения: 10.11.2021).
9. Канальный нагреватель // Википедия. [2021]. Дата обновления: 24.07.2021. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=2677965&oldid=115643226> (дата обращения: 10.11.2021).

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ КОВКИ МОДЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ-КРЕМНИЙ

Прудников А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, a.prudnikov@mail.ru*

Аннотация. Оптимизация режимов модельных сплавов является важным фактором повышения механических свойств сплавов системы алюминий – кремний и позволяет провести деформацию высококремнистых силуминов. Статья рассматривает новые подходы к ковке и термической обработке заэвтектических сплавов, что актуально для производств цветной металлургии.

Ключевые слова: заэвтектический силумин, модельный сплав, ковка, отжиг, оптимизация.

Abstract. Optimization of the modes of model alloys is an important factor in improving the mechanical properties of alloys of the aluminum - silicon system and allows deformation of high-silicon silumins. The article considers new approaches to forging and heat treatment of hyperoitectic alloys, which is important for nonferrous metallurgy industries.

Keywords: hyperoitectic silumin, model alloy, forging, annealing, optimization.

Введение

Заэвтектические алюминий-кремниевые сплавы (силумины) обладают уникальным комплексом физико-механических свойств, в частности малым удельным весом, низ-

ким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР), хорошей теплопроводностью, износостойкостью, твердостью, удовлетворительными характеристиками прочности, а также невысокой стоимостью по сравнению с другими алюминиевыми сплавами. Это делает их незаменимым материалом для изготовления ряда деталей специального назначения, например, поршней двигателей внутреннего сгорания, деталей, требующих малых значений ТКЛР для аэрокосмической, приборной и электровакуумной техники. До настоящего времени в промышленности детали и заготовки из заэвтектических алюминиесилициевых сплавов получают методом литья. Использование технологий обработки давлением для заэвтектических силуминов не представляется возможным в связи с их низкой пластичностью, которая обусловлена наличием в их структуре крупных кристаллов первичного кремния (КПК). Достигнутый уровень измельчения КПК за счет использования модифицирования заэвтектических силуминов соединениями фосфора, из которых наиболее часто в промышленности используется фосфористая медь (МФ-1), по-прежнему не позволяет качественно (радикально) изменить сложившуюся ситуацию к лучшему. В последние десятилетия появились работы [1-3], посвященные установлению связи химического состава заэвтектических силуминов с ресурсом пластичности и с энергосиловыми и термоскоростными параметрами процесса горячего прессования, осуществляемого различными способами, и поперечно-винтовой прокатки. Однако работ такой направленности в области заэвтектических силуминов выполнено недостаточно. Кроме того, во многих металлах и сплавах, в том числе алюминиевых, обязательно присутствует водород, который составляет 60–90 % от общего объема содержащихся газов [4]. Водород попадает в сплавы с шихтовыми материалами, за счет адсорбции его расплавом из печной атмосферы и при разливе жидкого металла. На основе анализа работ, посвященных распаду пересыщенных водородом твердых растворов в деформируемых алюминиевых сплавах, показано, что скорости перемещения водорода при повышенных температурах настолько велики, что необходимо считаться с возможностью взаимодействия металла с водородом в процессах деформации при получении полуфабрикатов из алюминиевых сплавов [5]. Однако сведения, приводимые в литературе, в основном носят отрывочный характер и, в подавляющем большинстве, не учитывают связь содержания водорода со структурой и механическими свойствами при деформации заэвтектических силуминов.

В связи с вышеизложенным, представляют интерес исследования, посвященные комплексному воздействию отжига и термоциклическойковки на микроструктуру, содержание водорода и механические свойства заэвтектических силуминов с содержанием кремния 15÷30 % (вес.), модифицированных промышленным способом (добавкой фосфористой меди).

1. Материалы и методы исследования

Для исследований были приготовлены бинарные заэвтектические силумины, содержащие 15, 20, 25 и 30 % (вес.) кремния. Сплавы готовили в электрической печи сопротивления с карбидо-кремниевыми нагревателями в тигле из нержавеющей стали, окрашенном огнеупорным составом на основе оксида цинка и мела. В качестве шихты использовали технически чистые алюминий А6 и кремний Кр0. После приготовления расплава проводили его модифицирование фосфористой медью МФ-1 (среднее содержание фосфора 10 %) в количестве 0,1 % от веса расплава для всех исследуемых составов силуминов. При введении в расплав такого количества фосфористой меди в сплаве содержится 0,008÷0,011 % модифицирующего реагента фосфора. Для определения содержания кремния и фосфора использовали эмиссионный спектрометр ARL 4460. Расплав заливали в алюминиевую форму квадратного сечения со стороной 80 мм и высотой 250 мм. Вес слитка составлял $4,3 \pm 0,05$ кг. Для изготовления заготовок под деформацию от слитка отрезали прибыльную часть (темplet высотой 50 мм) и донную часть (темplet высотой 15 мм). Вес заготовки равнялся $3,2 \pm 0,05$ кг. Заготовки перед ковкой подвергали гомогенизирующему отжигу при температуре 500 ± 10 °С в течение 2 часов. Термоциклическуюковку осуществляли по схеме протяжки с кантовкой плоскими бойками прямоугольных

заготовок на пневматическом молоте МВ 412 с номинальной массой падающих частей 150 кг. Эффективная кинетическая энергия падающих частей при ударе составляла не менее 2,5 кДж, а скорость в момент удара 5,6 м/с. Сплав, содержащий 15 % Si, обладает достаточной пластичностью, поэтому заготовки из этого сплава были прокованы на пруток сечением 15 × 15 мм (коэффициент уковки K=28) без промежуточных отжигов. Заготовки из сплавов с 20 и 30 % Si проковывали в горячую за 3–5 циклов в зависимости от содержания кремния. Между циклами ковки проводили промежуточные отжиги для заготовок из сплавов с 20 и 25 % Si при 500±10°C в течение 1 часа, для заготовок из сплава с 30 % Si при 540±10 °C в течение 1,5 часа. Конечным сечением поковок из всех сплавов является квадрат со стороной 15 мм. Общий коэффициент уковки определяли по формуле

$$K_{\text{общ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n ,$$

где K1, K2, K3, ..., Kn – коэффициенты уковки для каждого цикла деформации.

Коэффициенты уковки для каждого цикла рассчитывали, как:

$$K = F_0 / F_k$$

где F0, Fk – исходная и конечная площадь поперечного сечения заготовок

Величина общего коэффициента уковки составляла 28 для поковок из всех исследуемых сплавов. Причем степени деформации заготовки за первый удар составляла 3 %, так как деформация менее 2 % за первый удар локализуется только в поверхностных слоях металла. После завершения последнего цикла ковки прутки отжигали при 520±10°C в течение 2 часов.

Для исследования микроструктуры сплавов и определения объемных долей структурных составляющих использовали оптический структурный анализатор «EPIQUANT» фирмы «Karl Zeiss» Jena.

Механические характеристики поковок определяли испытаниями на статическое растяжение в соответствии с ГОСТ 1497-84 на цилиндрических пятикратных образцах с диаметром рабочей части 6 мм на машине «Instron 3369». Для измерения микротвердости структурных составляющих сплавов использовали прибор ПМТ-5.

Рентгеноструктурный анализ проводили с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3,0 в кобальтовом K α -излучении с длиной волны $\lambda = 0,1790$ нм. Для расчета параметра решетки α -твердого раствора алюминия использовали линию (331) α с поправками на преломление и поглощение.

Содержание водорода определяли методом нагрева образцов диаметром 8 мм и длиной 45 мм в токе инертного газа-носителя (аргон) на газоанализаторе В-1.

2. Результаты и их обсуждение

Структура и содержание водорода

Результаты исследования содержания водорода в литых, отожженных и термоциклически прокованных заготовках, а также подвергнутых постдеформационному отжигу из заэвтектических силуминов, содержащих 15÷30 % Si. Из полученных результатов видно, что отжиг литых заготовок при 500 °C в течение 2 часов незначительно снижает количество водорода в заэвтектических силуминах. Однако горячая термоциклическая ковка отожженных заготовок совместно с промежуточными отжигами (500°C, 1 ч) резко увеличивает количество экстрагированного из них водорода. Причем, в поковках с большим содержанием кремния это увеличение значительнее, чем для прутков, изготовленных из силуминов с меньшим количеством кремния. Так, если в заготовках из сплава Al - 15% Si термоциклическая ковка увеличивает содержание водорода от 0,4 до 1,2 см³/100 г, то для сплава Al - 20% Si она повышает его количество от 0,6 до 3,5 см³/100 г. Отжиг кованных заготовок при 520 °C в течение 2 часов дегазирует их до уровня 0,5÷0,8 см³/100 г.

В литературе имеются сведения о том, что в алюминиевых сплавах со структурой твердого раствора после горячей пластической деформации содержание водорода уменьшается [6]. Однако для объяснения полученных результатов необходимо учитывать наличие в

структуре заэвтектических силуминов не только α -твердого раствора алюминия, но и фазы β -Si, которая представлена кристаллами первичного кремния (КПК) и эвтектикой (Al+Si). В заэвтектических силуминах большая часть водорода методом вакуумной экстракции не определяется, так как он находится не только в твердом растворе на основе алюминия, но и растворен в выделениях фазы β -Si и связан на межфазных границах [5,7]. Увеличение экстрагированного количества водорода в 3–5 раз после термоциклическойковки заготовок по сравнению с отожженным состоянием, видимо, связано с его перераспределением внутри металла. При деформации заэвтектических силуминов за каждый циклковки под действием повышенных температур и напряжений, возникающих в металле, часть водорода, растворенного в выделениях фазы β -Si и сегрегированного на межфазных границах, переходит в матричный твердый раствор алюминия. Этот процесс вызывает резкое увеличение экстрагированного количества водорода в деформированном силумине. В то же время при горячей деформации протекает процесс дегазации, то есть выхода водорода из твердого раствора алюминия в атмосферу. По-видимому, соотношение интенсивностей протекания этих процессов и определяет содержание водорода в заготовке после ее деформации.

С увеличением содержания кремния в исследуемых силуминах от 15 до 30 % в их структуре увеличивается объемная доля кристаллов первичного и эвтектического кремния и, следовательно, возрастает количество водорода, связанного в них. Такое положение при ковке отожженных сплавов приводит к более интенсивному росту содержания экстрагированного водорода в деформированных заготовках, имеющих в своем составе большее количество кремния. Для силуминов с содержанием кремния 25 и 30 % уже при небольших степенях деформации, соответствующих коэффициенту уковки $K=1,3\div 1,7$ (первая ковка), содержание водорода в твердом растворе возрастает в 2–3 раза и составляет 1,1 и 1,5 см³/100 г соответственно.

Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на заготовки из заэвтектических силуминов приводит существенным изменениям в их структуре. Можно констатировать, что термоциклическая ковка совместно с отжигами заготовок из сплава Al-20 % Si приводит к измельчению в их структуре КПК, сфероидизации, а после постдеформационного отжига и коагуляции выделений кремния в эвтектике, а также к значительному увеличению количества α -твердого раствора. С увеличением общего коэффициента уковки усиливается строчечное распределение как первичных, так и эвтектических выделений кремния в структуре поковок. Причем, в их центральной зоне формируется структура с минимальным количеством КПК и более мелкой глобулированной эвтектикой, чем в остальных зонах, что объясняется наличием максимальных деформаций в этой зоне при данной схемековки (протяжка с кантовкой). Использование промежуточных и постдеформационного отжигов уменьшает структурные различия между зонами поковок из заэвтектических силуминов. Аналогичная тенденция изменений структуры после термоциклическойковки и отжигов сохраняется для других исследуемых составов заэвтектических силуминов.

Полученные данные подтверждают возможность измельчения КПК в структуре заготовок из заэвтектических силуминов после их гомогенизирующего отжига, термоциклическойковки и промежуточных отжигов. Причем, средний размер КПК уменьшается тем значительнее, чем больше общий коэффициент уковки заготовок. Так, если для сплава с 20 % кремния средний размер КПК в структуре отожженной заготовки составляет 118 мкм, а после второйковки (Кобщ.=4,1) размер кристаллов уменьшается до 105 мкм, то уже после третьейковки (Кобщ.=28) он составляет около 50 мкм. С увеличением содержания кремния в силуминах до 30 % степень измельчения КПК несколько снижается при тех же коэффициентах уковки. В то же время на основе диаграмм изменения объемных долей структурных составляющих для заэвтектических силуминов в различных состояниях, можно сделать вывод о том, что термоциклическая ковка с промежуточными отжигами увеличивает в структуре заготовок объемную долю α -твердого раствора, уменьшая при этом количество эвтектики (Al+Si). Доля α -твердого раствора после термоциклическойковки увеличивается в 2–2,8 раза по сравнению с гомогенизированным со-

стоянием заготовок. Так, термоциклическая ковка заготовок из сплава Al - 20% Si (Кобщ.=28) увеличивает объемную долю α -твердого раствора от 15,0 % до 41,7 % при уменьшении количества эвтектики от 62,4 % до 40,0 %. При этом снижение объемной доли КПК В структуре заготовок составляет $2\div 4$ %, что находится в пределах ошибки измерения. Постдеформационный отжиг при 520 °С в течение 2 ч приводит только к коагуляции эвтектического кремния в структуре заготовок. Изменения объемных долей структурных составляющих в заэвтектических силуминах после комплексного воздействия отжигов и термоциклическойковки можно связать с процессами растворения β -Si в α -твердом растворе, а также сфероидизации и коагуляции эвтектического кремния, происходящих под действием повышенных температур и напряжений.

Указанные изменения, происходящие в микроструктуре заэвтектических силуминов при совместном воздействии отжигов и термоциклическойковки, определяются величиной общего коэффициента уковки и позволяют говорить о растворении части кремния в α -твердом растворе алюминия. Рентгеноструктурный анализ образцов, вырезанных из силуминовых поковок, показал, что после гомогенизирующего отжига и термоциклическойковки с промежуточными отжигами происходит некоторое уменьшение параметра решетки α -твердого раствора алюминия. Такое уменьшение параметра решетки α -твердого раствора в заэвтектических силуминах можно объяснить одновременным протеканием нескольких процессов, идущих при горячей деформации. Прежде всего, происходит растворение части кремния в алюминиевой матрице, тем самым уменьшая параметр ее кристаллической решетки. Это уменьшение связано с тем, что кремний образует в алюминии твердый раствор замещения, а его радиус атома меньше, чем у атома основы. Наряду с этим, при разложении кристаллов кремния под действием температуры и напряжений, возникающих при деформации, происходит выделение водорода, растворенного в них и находящегося на межфазных границах, в твердый раствор и последующий его выход из решетки алюминия в атмосферу. Если переход водорода в α -твердый раствор алюминия увеличивает параметр решетки последнего, то удаление его в атмосферу оказывает противоположное действие. Данные по микротвердости α -твердого раствора алюминия для силуминов с содержанием кремния 15÷30 % подтвердили возможность его упрочнения за счет растворения в нем части кремния в процессе деформации сплавов. Для заэвтектических силуминов упрочнение твердого раствора после деформации составило $8\div 17$ %.

Свойства

Результаты определения механических характеристик при растяжении образцов, изготовленных из литых и деформированных силуминов, приведены на рисунке 1.

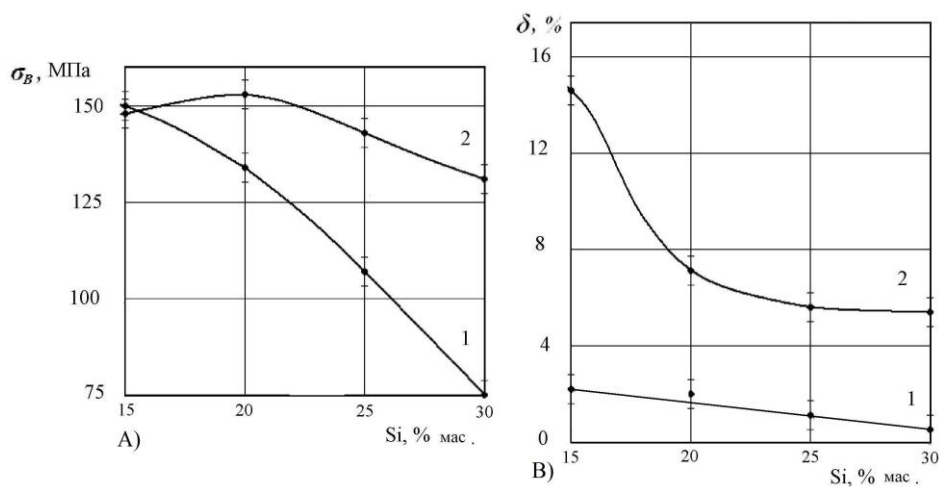


Рисунок 1 – Влияние гомогенизирующего отжига (500°С, 2 ч) и термоциклическойковки (Кобщ.=28) на временное сопротивление разрыву (а) и относительное удлинение (б) заготовок из силуминов, содержащих 15÷30% Si, 1 – литое состояние; 2 – после отжига и термоциклическойковки с промежуточными отжигами

Можно отметить, что горячая деформация оказывает положительное влияние на механические свойства, особенно на пластичность силуминов. Причиной такого повышения является улучшение структуры при деформации, прежде всего, измельчение и сфероидизация КПК и эвтектических выделений. Так, поковки, полученные из силуминов с содержанием кремния 20÷30 % (с общим коэффициентом уковки равным 28), имеют временное сопротивление разрыву на 15-75 % выше, чем сплавы в литом состоянии. Отсутствие прироста прочности для поковок, содержащих 15 % кремния, объясняется влиянием динамической рекристаллизации, протекающей при температуре горячей деформации, и промежуточных отжигов, снижающих эффект наклепа и измельчения КПК. Следует отметить, что в сплаве с 15 % кремния доля КПК невелика и вклад их измельчения в характеристики прочности минимален по сравнению с другими исследуемыми силуминами. Относительное удлинение поковок из всех исследуемых силуминов возрастает от 0,6÷4,8 % до 5,3÷17 % по сравнению с литым состоянием. В связи с устранением макро- и микропористости, а также уменьшением общего газосодержания в деформированном металле удельный вес поковок из заэвтектических силуминов после совместного воздействия отжигов и термоциклическойковки увеличивается. Так, после гомогенизирующего отжига при 500 °С, 2 ч и горячейковки (Кобщ.=28) удельный вес сплава Al-15% Si возрастает от 2622,4 до 2634,0 кг/м³, а для силумина с 20 % кремния после отжига и термоциклическойковки (Кобщ.=28) с промежуточными отжигами (500°С, 1 ч) увеличивается от 2601,9 до 2614,7 кг/м³.

Выводы:

1. Установлено, что деформация высококремнистых силуминов приводит к увеличению определяемого вакуумной экстракцией количества водорода, что объясняется его перераспределением из β-кремния в α-твердый раствор.

2. Количественный микроструктурный анализ сплавов показал, что горячая деформация заэвтектических силуминов приводит к измельчению и сфероидизации КПК и эвтектики. При этом объемная доля твердого раствора в структуре горячедеформированных сплавов возрастает, а доля β-кремния уменьшается.

3. Указанные изменения структуры, происходящие при горячей деформации силуминов, обеспечивают значительное повышение их уровня механических характеристик, что отрывает перспективы использования этих сплавов в деформированном состоянии.

Библиографический список

1. Елисеев А.Н., Щерба В.Н. Эскин Г.И., Пименов Ю.П. Особенности горячего прессования заэвтектических силуминов//Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. 1996. №4. С. 25–29.

2. Эскин Г.И., Артес А. ЕЭ., Панов Е.И. и др. Исследование технологии изготовления деформированных полуфабрикатов из заэвтектических силумина 01392 с использованием поперечно-винтовой прокатки // Технология легких сплавов. 2008. №1. С. 83–89.

3. Эскин Г.И., Бочвар С.Г., Ялфимов В.И. Новые тенденции в технологии литья и деформирования заэвтектических силуминов // Металлургия машиностроения. 2009. №4. С. 21–24.

4. Газы в цветных металлах и сплавах. Чернега Д.Ф., Бялик С.М., Иванчук Д.Ф. и др. М.: Металлургия, 1982. 176 с.

5. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах. Добаткин В.И., Габидуллин Р.М., Колачев Б.А. и др. М.: Металлургия, 1976. 264 с.

6. Гельд П.В. Рябов Р.А Водород в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1974.272 с.

7.Чернега Д.Ф. Массоперенос водорода в алюминии и сплавах на его основе /. Водородная экономика и водородная обработка материалов Донецк, Украина 21-25 мая .2007: Сб. трудов V межд. конф., Донецк: изд-во ДонНГУ, 2007. т. 2. С. 651–654.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ НАСТУПЛЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Гусев С.С.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия, gs-serg@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается система и алгоритмы работы системы пожарной сигнализации, как сегмента «Умного Дома». Также проводится моделирование процессов эвакуации людей из здания при наступлении чрезвычайной ситуации, учитывая плотность потока людей и скорость потока передвижения, рассмотрев различные сценарии организации рабочего пространства и поведения людей. Предлагается перечень рекомендаций для более рационального использования пространства зданий и снижения степени потенциального ущерба в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: умный дом, моделирование процессов, чрезвычайная ситуация, здания и сооружения, рекомендации, процессы эвакуации людей из зданий.

Abstract. The article discusses the system and algorithms of the fire alarm system, as a segment of the «Smart Home». It also simulates the processes of evacuation of people from the building in the event of an emergency, considering the density of the flow of people and the speed of the flow of movement, considering various scenarios of the organization of the working space and the behavior of people. A list of recommendations is proposed for more rational use of building space and reducing the degree of potential damage in the event of emergencies.

Keywords: smart home, process modeling, emergency situation, buildings and structures, recommendations, processes for evacuating people from buildings.

Введение

Современная жизнедеятельность человека плотно связана с объектами капитального строительства, которыми являются здания, строения, сооружения.

Здание – результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных [1].

Здания делятся на два вида – жилые и нежилые. Нежилые здания – здания, назначением которых является создание условий для труда, социально-культурного обслуживания населения и хранения материальных ценностей: промышленные, коммерческие, административные, учебные, здравоохранения, другие.

Сооружение – результат строительства, представляющий собой объемную, плоскостную или линейную строительную систему, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей, перемещения людей и грузов [1].

Объектом, выступающим как сооружение, является каждое отдельное сооружение со всеми устройствами, составляющими с ним единое целое. К сооружениям также относятся законченные функциональные устройства для передачи энергии и информации, такие как линии электропередачи, теплоцентрали, трубопроводы различного назначения, радиорелейные линии, кабельные линии связи, специализированные сооружения систем связи, а также ряд аналогичных объектов со всеми сопутствующими комплексами инженерных сооружений.

Неотъемлемыми элементами объектов капитального строительства являются инженерные системы. Их состав регламентируется проектной документацией. Примером инженерных систем, которые обеспечивают безопасность, может стать система пожарной сигнализации, пожаротушения, система оповещения и управления эвакуацией, система

контроля доступа и т.д. К инженерным системам жизнеобеспечения относятся системы отопления, водоснабжения, электроснабжения и др.

Автоматизация зданий – процесс, ставший повсеместным в Европе и всё более завоёвывающий популярность в России.

Автоматизированное управление позволяет оперативно управлять инженерными системами с помощью заложенной в систему модели поведения с целью снижения ущерба в результате аварийных ситуаций.

Наиболее распространённым примером чрезвычайных ситуаций (ЧС) являются пожары, вследствие которых возможна гибель людей. Бытовым примером ЧС являются аварии систем водоснабжения или отопления, следствием которых является материальный ущерб.

Наиболее динамично развивающимся сегментом управления инженерными системами является комплекс задач по мониторингу и управлению зданиями, строениями, сооружениями, который получил название «Умный дом».

«Умный Дом» – интеллектуальная система, обеспечивающая автоматическую и согласованную работу всех систем жизнеобеспечения и безопасности [2].

Обеспечение пожарной безопасности людей требует организации их безопасной эвакуации. Критерии безопасной эвакуации людей – своевременность и беспрепятственность – в настоящее время проверяются на основе расчетов с помощью тех или иных моделей движения людского потока, реализованных в исполнительных алгоритмах для ЭВМ.

Снижение величины ущерба здоровью человека при ЧС зависит от многих факторов, таких как, количество людей в здании, ширина дверных проемов, количество пожарных и запасных выходов из здания и др.

Исследования в этой области выявили множество алгоритмов расчёта эвакуации и факторов для оптимизации процесса эвакуации из здания [2, 3]. Но эти алгоритмы описывают любую систему только в общем случае, приводя средние значения, не затрагивая частные случаи задачи (например, когда в помещении находится слишком большое количество людей или здание слишком высокое – эвакуация с последних этажей небоскребов и др.).

Таким образом, задача исследования различных случаев эвакуации с целью уменьшения материальных и людских потерь, является актуальной проблемой.

Целью работы является создание алгоритма работы пожарной сигнализации, моделирование процессов эвакуации людей из здания в случае возникновения ЧС и разработка на основе полученных данных комплекса решений, обеспечивающих безопасность людей при эвакуации.

1. Постановка задачи

Задачей инженерных систем, которыми оснащено любое современное здание, является упрощение жизни и условий труда человека, а также уменьшение ущерба в случае возникновения сбоев, аварий, нештатных (чрезвычайных) ситуаций. Важную роль при этом играет умение правильно повести себя при наступлении ЧС, своевременно и адекватно реагировать на оповещение об аварии и организовано, спокойно покинуть здание, не создавая паники и давки.

Процесс организованной эвакуации требует соблюдения множества факторов, среди которых наличие требуемого количества аварийных выходов, пожарных лестниц, нормы пожарной безопасности, правила поведения при пожаре, пропускная возможность дверных проемов, наличие лифтов в здании и многое другое.

Пожарная сигнализация и система оповещения позволяют обнаружить возгорание на ранних его стадиях и предотвратить пожар. Для лица принимающего решения (ЛПР) ответственного за пожарную безопасность в здании, важно понимать алгоритмы, по которым работает пожарная сигнализация и система оповещения при пожаре, а также иметь перечень правил, которым должны следовать люди, находящиеся в здании в момент ЧС, в зависимости от своих должностных инструкций. Для решения данной задачи требуется

проанализировать алгоритмы работы инженерных систем и методы реагирования на различные виды отклонений параметров системы пожарной сигнализации.

Важной задачей при наступлении нештатной ситуации является эвакуация людей. Существует множество нормативных документов, регламентирующих правила поведения при пожаре и ЧС. Подобные документы приводят средние величины, не рассматривая частные случаи, поскольку составить четкий план действий невозможно потому, что нельзя предугадать, как поведет себя человек при пожаре.

Задачу нахождения значения верхней границы допустимого количества людей в здании можно изобразить в виде структурной схемы системы моделирования, представленной на рисунке 1.

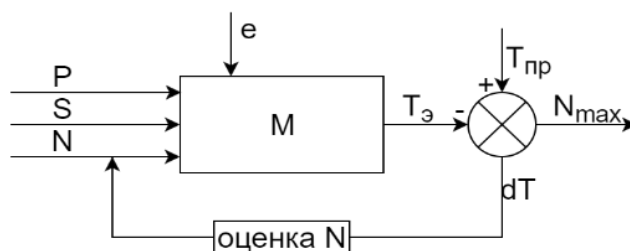


Рисунок 1 - Структурная схема системы моделирования

где S – параметры здания (границы и габариты помещений);

N – текущее количество людей в здании;

P – физические параметры человека (площадь горизонтальной проекции, скорость движения);

e – возмущение системы (слияние людских потоков, движение по лестнице и через дверные проёмы);

$T_э$ – время эвакуации;

$T_{пр}$ – предельное время эвакуации;

$dT = T_{пр} - T_э$;

N_{max} – максимально допустимое количество людей в здании.

Рисунок 1 представляет собой обратную связь оценки текущего количества нахождения людей в здании, где представлены такие параметры, как параметры человека, параметры здания для эвакуации человека в случае возникновения ЧС, текущее количество людей в здании и ряд других параметров, описывающих структурную взаимосвязь человека и возможности его эвакуации в случае возникновения ЧС.

Для обеспечения безопасности при эвакуации людей из здания в случае возникновения ЧС, оснащенного системой «Умный дом», необходимо на примере системы пожарной сигнализации решить следующие задачи:

- провести моделирование процессов реагирования на критические отклонения параметров системы пожарной сигнализации;

- реализовать имитационное моделирование процессов эвакуации людей из здания при ЧС, установить величины времени эвакуации при различных сценариях;

- провести анализ и оценку полученных величин, дать заключение по предотвращению тяжких последствий при эвакуации.

2. Классификация инженерных систем

Современные сети и инженерные системы – это основа для любого сооружения или комплекса зданий. Они приносят тепло и комфорт, а также прочие блага цивилизации. Рациональное использование топлива, воды и электричества подразумевает применение технологичных, продуманных систем.

Инженерные системы можно отнести к следующим типам:

- Системы безопасности;

- Системы жизнеобеспечения;

- Системы мониторинга и диспетчеризации.

В статье рассмотрены следующие инженерные системы безопасности и их взаимодействие:

- Система пожарной сигнализации;
- Система оповещения и управления эвакуацией.

Ниже, на рисунке 2 изображен состав инженерных систем современного здания.



Рисунок 2 - Состав инженерных сетей современного здания

Ниже приведена классификация инженерных систем, рассматриваемых в данной статье:

1. Системы автоматического пожаротушения.

Системы автоматического пожаротушения делятся на три типа: водяное (или спринклерное) пожаротушение, газовое пожаротушение и порошковое пожаротушение [3].

2. Автоматическая пожарная сигнализация.

Система предназначена для автоматизированного своевременного обнаружения возгорания или задымления и, при наличии соответствующего оборудования, устранения причин тревоги.

Дымовыми извещателями оборудуются рабочие помещения, коридоры и холлы административного здания;

Тепловые извещатели устанавливаются в помещениях, где установка дымовых извещателей невозможна в связи со спецификой эксплуатируемого помещения – на кухне и в столовой;

Взрывобезопасные извещатели установлены в помещении хранения боеприпасов;

Ручные пожарные извещатели устанавливаются на путях эвакуации и пожарных выходах.

3. Системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией.

Система звукового оповещения о пожаре – неотъемлемая часть системы безопасности. Система звукового оповещения может быть, как ручной, так и автоматической. Система функционирует самостоятельно, а также в комплексе с другими системами.

Автоматическая система способна без участия оператора принять сигнал от пожарной станции и осуществить речевое оповещение о пожаре в нужных зонах. Сложность реализации таких систем определяется требованием к типу оповещения здания, удобством и стоимостью самой системы.

4. Системы контроля и управления доступом (СКУД).

Системы контроля доступа и учета рабочего времени разрабатываются в

соответствии со спецификой деятельности предприятия, и предусматривают широкие функциональные возможности.

Системы предоставляют полную информацию о передвижениях сотрудников как внутри объекта или здания, так и на уровне входа и выхода из такового. Функции учета рабочего времени повышают эффективность работы кадрового отдела предприятия, а в ряде случаев могут оптимизировать бюджет заработных плат.

2.1. Влияние инженерных систем на жизнедеятельность

Все инженерные системы влияют на следующие аспекты жизнедеятельности:

- 1) Защиту жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- 2) Охрану окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений;
- 3) Обеспечение энергетической эффективности зданий и сооружений.

Оценка влияния инженерных систем на аспекты жизнедеятельности приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Оценка влияния инженерных систем

Обозначения	Инженерная система	Жизнедеятельность	1)	2)	3)
	Система автоматического пожаротушения	Система безопасности	высокая	высокая	низкая
	Автоматизированная пожарная сигнализация	Система безопасности	высокая	высокая	низкая
	Системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией	Система безопасности	высокая	высокая	низкая
	Системы контроля и управления доступом	Система безопасности	высокая	низкая	средняя
	Автоматическая охранная сигнализация	Система безопасности	высокая	средняя	низкая
	Системы охраны периметра	Система безопасности	высокая	высокая	низкая
	Системы вентиляции	Система жизнеобеспечения	низкая	средняя	высокая

2.2. Нештатные ситуации

При эксплуатации зданий возможно возникновение сбоев и нестандартных ситуаций. Задача инженерных систем распознавать подобные ситуации, анализировать и сообщать об их возникновении пользователю. Возможны следующие варианты отклонений:

– Аварийная ситуация – состояние потенциально опасного объекта, характеризующееся нарушением пределов и (или) условий безопасной эксплуатации, не перешедшее в аварию, при котором все неблагоприятные влияния источников опасности на персонал, население и окружающую среду удерживаются в приемлемых пределах посредством соответствующих технических средств, предусмотренных проектом. Аварийная ситуация – обстановка в здании, сооружении, хранилище, на участке местности и т.д., возникающая в результате появления опасного фактора в зоне расположения защищаемых объектов [4];

– Сбой оборудования – ненормальная ситуация, которая может привести к снижению или потере способности функционального узла к выполнению предопределенной функции, то есть к отказу;

– Отказ оборудования – прекращение способности функционального узла к

выполнению predetermined функции. Отказ должен определяться системой, иметь возможность исправления или замены без воздействия на функциональность системы как до, так и после восстановления (замены);

– Превышение плановых значений – превышение значения текущих показаний счетчиков (фактического значения) по отношению к некоторой фиксированной величине – плановому значению.

При возникновении любого из отклонений в инженерных системах, система мониторинга оповещает о возникновении сбоя, при этом в сообщении указывается тип события и номер помещения, в котором произошла неполадка. При возникновении нештатных ситуаций система автоматически передает сигнал управляющим устройствам для предотвращения сбоя (например, при возникновении протечки поступит сигнал датчику перекрытия труб).

Далее рассматриваются типичные нештатные чрезвычайные ситуации и методы их предотвращения с помощью различных устройств.

К основным нештатным и чрезвычайным ситуациям относятся:

- Пожар;
- Авария систем водоснабжения;
- Несанкционированное проникновение.

Пожар – чрезвычайная ситуация, причиняющая весомый материальный ущерб, вред и здоровью людей, имуществу, интересам общества и государства [5]. Для того чтобы зафиксировать пожар на самой ранней стадии, когда он называется возгоранием, используются современные системы обнаружения и системы пожарной сигнализации. Они предназначены для круглосуточного контроля охраняемого объекта и оповещения владельца о первых признаках пожара или задымления. Для создания таких систем используются: устройства обнаружения – пожарные извещатели, приемно-контрольные приборы и исполнительное оборудование (средства оповещения) [6].

2.3. Пример здания с установкой противопожарной системы

Рассмотрим офисное здание средней этажности (до 10 этажей) с возможностью относительно свободного посещения населения, например, для оплаты квитанций, решения личных вопросов и т.п. Принципиально, что в здании предусмотрено какое-то среднее количество персонала и обслуживаемых людей. Однако возникают ситуации (в случайные моменты времени или периодически), когда количество людей в здании может существенно превышать средний норматив по проекту. Для такого типа зданий можно использовать по соотношению цена/качество оборудование системы «С-2000», производимое НВП «Болид»: дымовые адресно-аналоговые оптико-электронные извещатели ДИП-34А, и ручные адресные извещатели ИПР-513-3А. Эти извещатели включаются в адресную кольцевую двухпроводную линию связи (ДПЛС), которая опрашивается контроллером С2000-КДЛ.

Для повышения срока службы системы ДПЛС делится на несколько сегментов, соединенных через разветвительно-изолирующие блоки БРИЗ. При коротком замыкании ДПЛС отключается поврежденный участок ДПЛС между двумя БРИЗ, а оставшаяся часть ДПЛС продолжает функционировать. Принято решение установить по одному С2000-КДЛ на каждом этаже, с тем, чтобы в дальнейшем свободные адреса использовать для охранной сигнализации. Для управления клапанами в системе вентиляции применены адресные сигнально-пусковые блоки С2000-СП4/220 (по одному на два клапана), а для запуска системы оповещения – С2000-СП2, по одно на этаж.

Пульт контроля и управления «С-2000М» [7, 8] предназначен для работы в составе системы охранно-пожарной сигнализации для контроля состояния и сбора информации с приборов системы, ведения протокола возникающих в системе событий, индикации тревог, управления взятием на охрану, снятием с охраны, управления системными релейными выходами.



Рисунок 3 - Внешний вид пульта «С-2000М»

Пульт «С-2000М» соединяется с другими приборами по интерфейсу RS-485. Внешний вид пульта и схема подключения приборов по интерфейсу RS-485 изображены на рисунках 3 и 4 соответственно. Для повышения оперативности работы в состав системы включен также блок индикации с клавиатурой С2000-БКИ. С его помощью дежурный персонал может быстро оценить ситуацию, а также управлять взятием/снятием разделов сигнализации после предъявления электронного ключа.

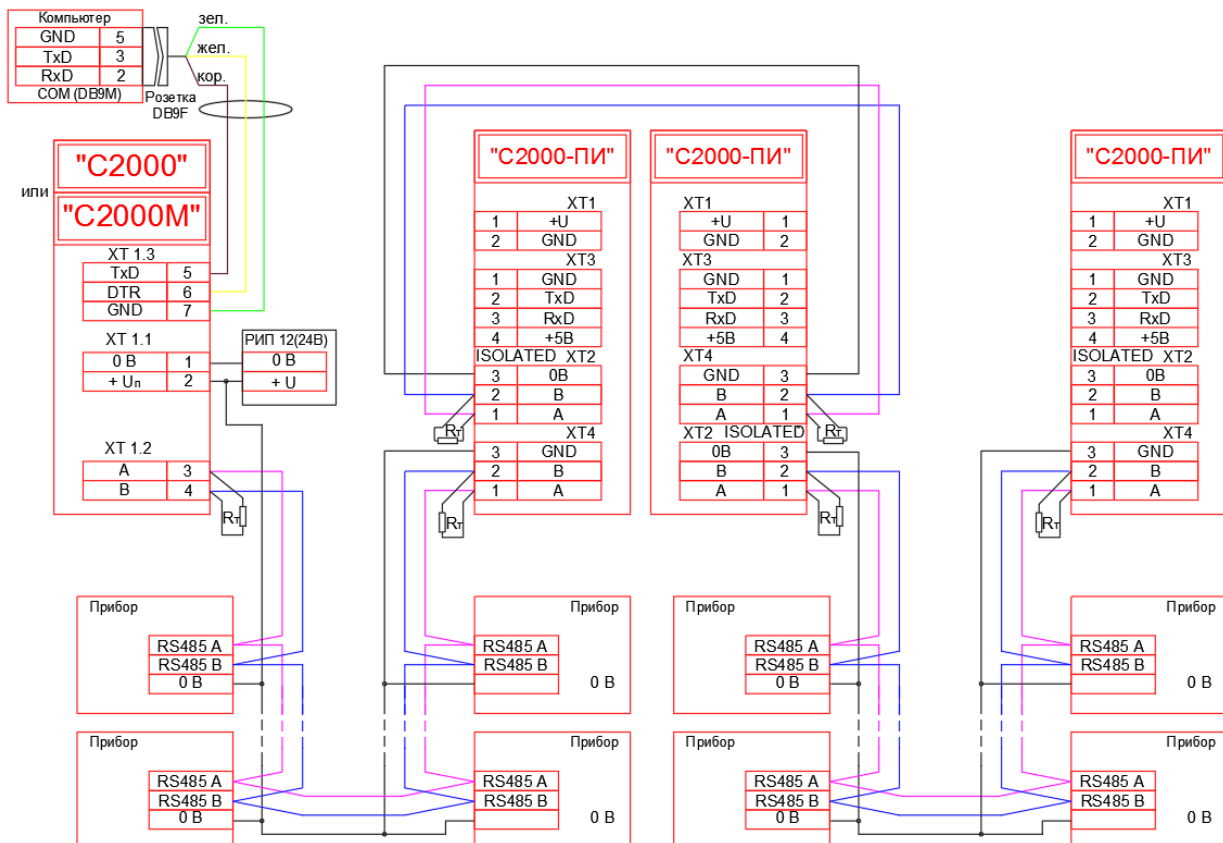


Рисунок 4 - Схема подключения приборов по интерфейсу RS-485

3. Пример работы пожарной сигнализации

Для повышения безопасности эксплуатации инженерных систем и, в том числе, предотвращения ущерба при авариях важно было рассмотреть возможные варианты сбоев в системе пожарной сигнализации и создать перечень инструкций для людей, работаю-

щих в рассматриваемом здании – как вести себя при отклонениях параметров инженерных систем [9, 10].

Пример работы пожарной сигнализации представляется следующим образом. При срабатывании одного или нескольких извещателей пожарной сигнализации, дежурный персонал осматривает помещение, в котором сработали пожарные извещатели, и принимает соответствующее решение по мере развития ситуации. Если сигнализация была ложной, и срабатывание извещателей было ложным, то персонал просто отключает систему аварийного срабатывания сигнализации и ставит извещатели обратно в рабочий режим. Либо, если произошло короткое замыкание в цепи одного из шлейфов, дежурный персонал сообщает в обслуживающую организацию о неисправности, выключает неисправный шлейф. Третий вариант событий при срабатывании сигнализации, человек – ЛПР принимает решение, либо тушить пожар собственными силами, если очаг возгорания оказался незначительным, либо, если очаг возгорания оказался значительным и ЛПР не может справиться с возникшей ситуацией самостоятельно, то он вызывает экстренную службу, принимает меры к эвакуации персонала из помещения, где произошло возгорание. После ликвидации пожара дежурный персонал производит сброс тревог и перезапускает автоматизированную управляемую пожарную сигнализацию, принимает решение по устранению неисправностей и восстановления помещения, где произошло возгорание и только после восстановления систем жизнеобеспечения помещения, возвращает персонал на место.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. Булатова В.А. Интеллектуальная автоматизированная система энергосбережения «Умный Дом» // Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск). Эпоха науки. 2015. С. 111.
3. Собурь С.В. Установки пожаротушения автоматические: Учебно-справочное пособие. – 7-е изд., перераб. – М.: ПожКнига, 2012. – 336 с., ил. – Серия «Пожарная безопасность предприятия»
4. Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И., Смирнов В.И. Производственная и пожарная автоматика. Ч.2. Автоматические установки пожаротушения: Учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 298 с.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. N 304 г. Москва «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
6. Предупреждение и ликвидация ЧС. Методическое пособие издание второе. Москва 2003. Институт риска и безопасности.
7. Воронов В.А., Тихонов В.А. Системы контроля и управления доступом. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. - 272 с.
8. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации. Основные теории и принципы построения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 508 с.
9. Кирик Е.С., Юргельян Т.Б., Круглов Д.В., Малышев А.В. О непрерывно-дискретной стохастической модели движения людей // Материалы XIII Всероссийского семинара Моделирование неравновесных систем, Красноярск: ИВМ СО РАН, 2010. С. 81–85.
10. Основы информационной безопасности: Учеб. для вузов МВД России / под ред. Минаева В.А. и Скрыля С.В. – Воронеж: ВИ МВД России, 2001. – 464 с.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ОСОБОЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ

Авдеев М.К., Девярых Е.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия, evgeny.deviatykh@urfu.ru

Аннотация. На современных производствах с использованием электронно-лучевых печей с советскими электронными пушками, актуальна проблема их модернизации. Аналоговое управление пушками не подразумевает автоматизацию процесса плавки. В данной статье рассматривается внедрение цифрового управления пушками.

Ключевые слова: автоматизация, электронно-лучевая пушка, электронно-лучевая плавка.

Abstract. In modern production facilities using electron beam furnaces with Soviet electron guns, the problem of their modernization is urgent. Analog gun control does not imply automation of the melting process. This article discusses the introduction of digital gun control, and in the future, automation of the melting process in electron beam furnaces.

Keywords: automation, plasma electron source, electron beam gun, electron beam melting.

Получение чистых металлов и сплавов с особыми физико-химическими свойствами неразрывно связано с улучшением имеющихся и разработкой новых технологических процессов. Большие возможности заключены в процессах, протекающих при высоких температурах в условиях высокого и сверхвысокого вакуума. Практическая реализация этих процессов требует применения мощных источников нагрева с большой удельной плотностью энергии. Самыми перспективными для осуществления химико-металлургических процессов в указанных условиях являются электронно-лучевые источники тепловой энергии.

Основными особенностями электронного луча как источника тепловой энергии следует считать возможность плавного изменения температуры нагреваемого тела в достаточно широком диапазоне.

Электронно-лучевой источник нагрева в сочетании с высоким вакуумом привел к появлению новой электронно-лучевой технологии в металлургии (электронно-лучевая плавка и рафинирование, выращивание монокристаллов, сварка, напыление, размерная обработка, отжиг и т. д.). Особенно большие перспективы открывает электронный луч в современной вакуумной металлургии. При такой плавке кинетическая энергия направленного потока электронов превращается в тепловую при их столкновении с поверхностью металла.

Одной из основных проблем электронно-лучевых печей является устаревшее аналоговое управление пушкой излучателя, что подразумевает:

- отсутствие автоматического управления процессом плавки;
- отсутствие возможности движения луча по сложным траекториям;
- сложность управления скоростью перемещения точки нагрева;
- отсутствие контроля крайних положений слитка, что влечет за собой риски прожечь водоохлаждаемые части печи;
- низкое качество управления лучом: рывки, дребезг.

Управление потоком электронов осуществляется с помощью системы фокусировки электронного пучка и системы смещения луча, расположенных в пушке (рисунок 1).

В первом приближении пушку в таких печах можно сравнить с электронно-лучевой трубкой. Из генератора высокоскоростных электронов пучок проходит через электронную линзу, которая служит инструментом фокусировки, далее пучок проходит через отклоняющую систему, состоящую из каскада катушек размещенном на общем сердечнике (рисунок 2). Катушки подключены попарно, одна пара отвечает за смещение луча по оси Y, вторая пара соответственно за смещение луча по оси X. На пары катушек

параллельно подаётся переменное напряжение с определенной формой сигнала, она и определяет траекторию смещение луча.

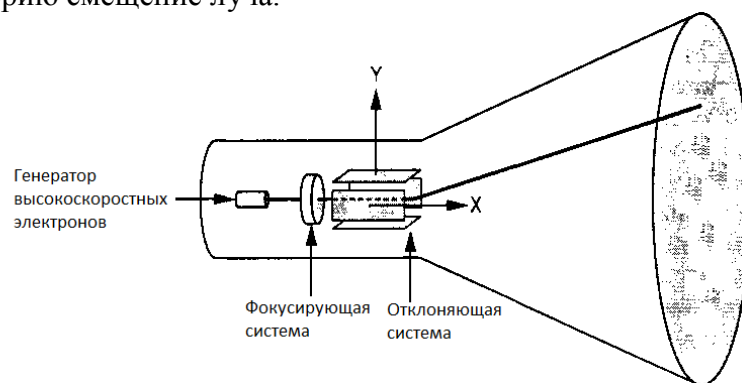
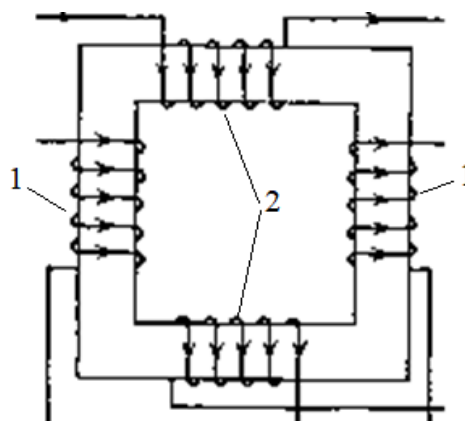


Рисунок 1 – Схема управления лучем электронов



1 – катушки смещения луча по оси X; 2 – катушки смещения луча по оси Y

Рисунок 2 – Схема размещения отклоняющих катушек

В некоторых печах система фокусирования и система смещения осуществлены в виде одного каскада: попарно параллельно соединенные катушки, размещенные на одном общем сердечнике. При этом изменяется форма смещающего сигнала. Напряжение постоянного тока, которое является фокусирующим, суммируется с напряжением переменного тока, которое является смещающим.

Напряжение переменного тока при этом может изменяться по гармоническому закону (синусоидальная форма), периодическому сигналу прямоугольной формы («Меандр»), периодическому сигналу треугольной формы («Пила»). Результирующее смещение луча будет зависеть от формы сигнала, амплитуды, частоты и смещения между фазами сигналов на катушках осей «X» и «Y».

Для формирования такого сигнала произвольной формы необходимо устройство для преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал с необходимой точностью (цифро-аналоговый преобразователь), который может управляться от промышленных контроллеров.

Для формирования аналогового высокочастотного сигнала произвольной формы был разработан генератор на базе микроконтроллера ATMEGA 328, который способен построить график любой функции (в зависимости формы сигнала) с заданной частотой и амплитудой. Далее рассчитанное значение функции в настоящий момент времени подается на разработанный 8 битный цифро-аналоговый преобразователь типа «R-2R» (рисунок 3). При этом образуется 256 уровней квантования, что достаточно для формирования достаточно сложного сигнала и управления электронно-лучевой пушкой с заданной точностью.

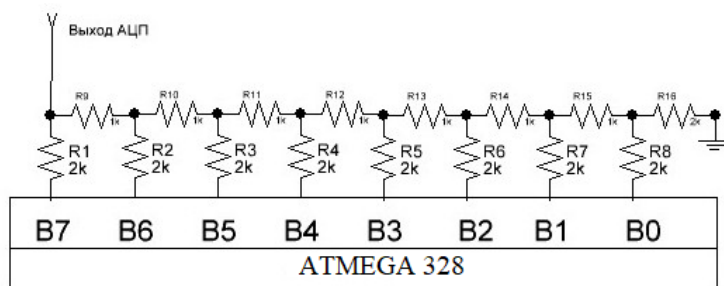


Рисунок 3 – Схема разработанного цифро-аналогового преобразователя типа «R-2R». B0-B7 цифровые выходы микроконтроллера.

Полученные аналоговые сигналы, сгенерированные в положительном полюсе (без смещения относительно нуля), были измерены с помощью современного цифрового осциллографа и представлены на рисунках 4-6.

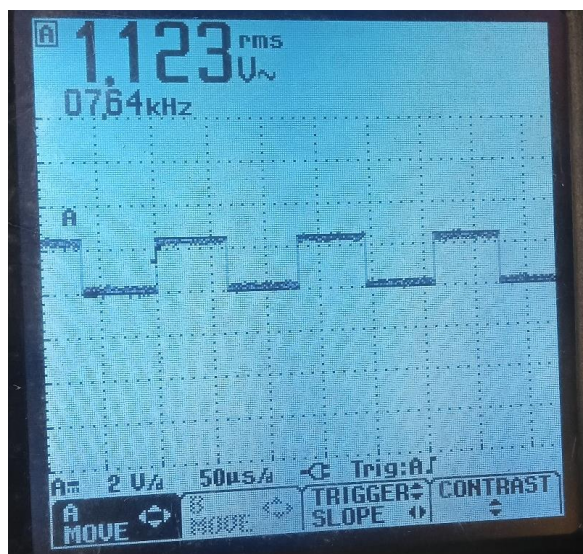


Рисунок 4 – Результат работы генератора, форма сигнала – «Меандр»: амплитуда 1.1 В, частота 7.64 кГц

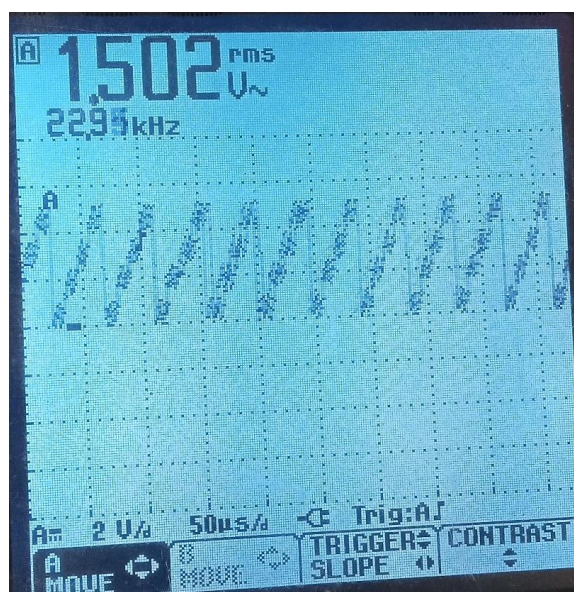


Рисунок 5 – Результат работы генератора, форма сигнала – «Пила»: амплитуда 1.502 В, частота 22.95 кГц

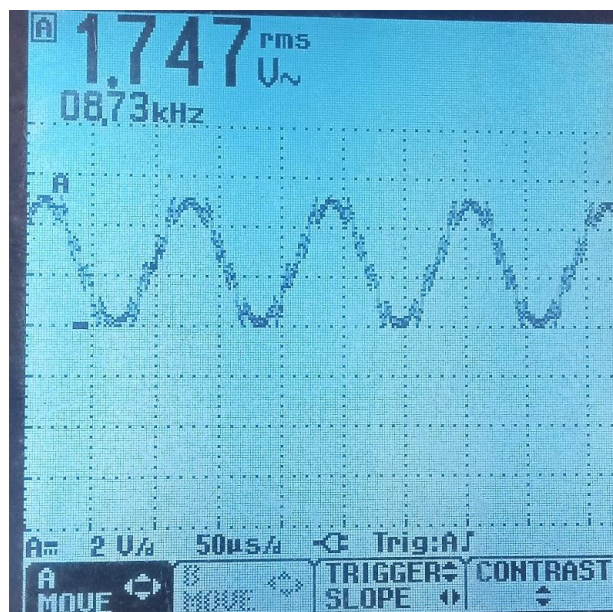


Рисунок 6 – Результат работы генератора, форма сигнала – «Синусоида»: амплитуда 1.747 В, частота 8.73 кГц

Аналоговый выход генератора также необходимо усилить по току для достижения необходимого уровня магнитного поля вырабатываемого отклоняющими катушкам «X» и «Y».

Полученный генератор сигналов произвольной формы может быть подключен ко многим современным контроллерам, используемым на производстве. В дальнейшем будет реализована схема управления от контроллера SIEMENS серии S7-1200 (рисунок 7), что позволит интегрировать современное управление электронно-лучевой пушкой в существующую систему управления печью (вакуумная система, система охлаждения и т.д.).

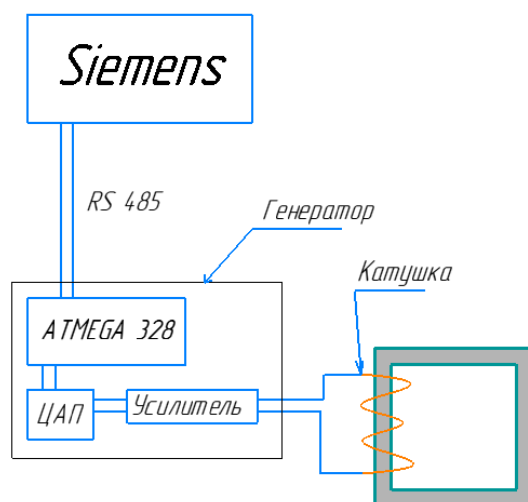


Рисунок 7 – Реализуемая схема управления лучом электронно-лучевой печи на базе цифрового генератора сигнала

Использование цифровых генераторов аналогового сигнала даёт ряд преимуществ по сравнению с классическим аналоговым управлением. Цифровой генератор может создавать сигнал сложной формы, что позволяет перемещать луч по любой траектории на слитке, а также автоматизировать её изменение. Это значительно повышает качество выплавляемого металла и улучшает условия труда персонала. В дальнейшем приведённый выше способ управления электронным пучком, будет интегрирован в электронно-лучевую печь УЭ-193М с ручным аналоговым управлением.

Библиографический список

1. Аброян И. А., Андронов А. Н., Титов А. И.А Физические основы электронной и ионной технологии: Учеб. пособие для спец. электронной техники вузов. - М.: Высш. шк., 1984.- 320 с., ил.
2. Сварочные электронные пушки / Кайдалов А.А., Истомин Е.И. – Киев: Научно-технический комплекс «Институт электросварки им. Е.О. Патона» Национальной Академии наук Украины, 2003. – 153 с.
3. Конструктивные особенности сварочных электронно-лучевых пушек. / Пашкин А. Н., Болдарев Е. А., Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск 2014 – 2с.
4. Электронные пучки и электронные пушки / И.В. Алямовский., 1966 г. – 455с. – М.: Издательство «Советское радио».
5. Ревич Ю. В., Азбука электроники. Изучаем Arduino / Ю. В. Ревич. – Москва: Издательство АСТ: Кладезь, 2017. – 224 с.
6. Саженов В. С., Системы автоматического управления на основе программируемых логических контроллеров. – М.: «Юрайт» 2008 г. – 81с.

СЕКЦИЯ 3
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
УЧЕБНОГО И СОЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЙ

Клеванский Н.Н.¹, Красников А.А.¹, Петрова Т.Ю.²

¹Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»,
Саратов, Россия, nklevansky@yandex.ru

²Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
Саратов, Россия

Аннотация. В докладе представлены подходы к централизованному формированию расписаний различных типов. Подходы базируются на ресурсо-ориентированных стратегиях и критериях использования ресурсов. Каждая стратегия использует два правила приоритетов. Первая стратегия преобразует множество заявок в начальное расписание. Вторая стратегия оптимизирует начальное расписание. Алгоритмы обеих стратегий используют разные виды методов ранжирования. Представлены полученные расписания различных типов.

Ключевые слова. расписание, критерий, правило приоритетов, методы ранжирования,

Abstract. The report presents approaches to centralized scheduling of various types. The approaches are based on resource-oriented strategies and criteria for the use of resources. Each strategy uses two priority rules. The first strategy converts set of demands to an initial schedule. The second strategy optimizes the initial schedule. The algorithms of both strategies use different types of ranking methods. The received schedules of different types are presented.

Keywords. schedule, criterion, priority rule, ranking methods.

Введение

Большинство информационно-управляющих систем содержит средства формирования расписаний (календарных графиков) выполнения различных видов деятельности организации. Проблемы расписания являются задачами формирования и оптимизации процесса обслуживания конечного множества заявок на осуществление действий в системе с ограниченными ресурсами. Различия задач связаны с природой связей между действиями расписаний и, соответственно, связями между заявками. Множество заявок может: быть множеством независимых заявок, состоять из подмножеств векторов заявок или подмножеств иерархических или сетевых структур заявок. Формирование расписания для известного заранее множества заявок может быть реализовано централизованным образом. Для произвольно накапливаемого множества заявок эта процедура полагается децентрализованной. Многие исследователи признают NP-трудность и многокритериальный характер задач расписаний, а также необходимость применения различных эвристик для снижения количества операций полного перебора.

Задача исследования - разработка общих подходов к централизованному формированию расписаний различных типов.

Предлагаемый доклад посвящен представлению разработанных общих подходов к централизованному формированию расписаний различных типов и их реализации.

Общие подходы в централизованном формировании расписаний. При разработке общих подходов использован опыт мультипроектного планирования.

Практика мультипроектного планирования. Основой эвристических подходов в практике мультипроектного планирования [1-5] является применение схем формирования расписаний (SGS - schedule generation scheme) и правил приоритетов (PR - priority rule). В контексте применения SGS автор [6] полагает синонимами термины «схема» и «метод». Из тех же контекстных соображений в докладе будет использоваться термин «стратегия». Стратегии формирования расписаний могут быть последовательными или параллельными [6]. Стратегии предлагаемых подходов являются параллельными. Основная задача PR – определение очередности (ранжирование) конкурирующих по ограниченным ресурсам работ (проектов) на основании некоторых скалярных оценок (критериев). PR является за-

даваемой последовательностью приемов и методов. Анализ и исследование различных PR's представлены в [1, 2]. Включение PR's в различные эвристики показано в [4, 5]. К сожалению в PR's преимущественно используется однокритериальное ранжирование, наиболее удобное для «ручной» обработки. В одном из немногих исследований [3] представлено многокритериальное ранжирование характеристик проектов с помощью метода анализа иерархий. В исследованиях по формированию расписаний других типов подходов с использованием SGS и PR- ориентированных эвристик не обнаружено.

Предлагаемые подходы. В основе предлагаемых ресурсо-ориентированных стратегий находятся концепции загруженности и равномерности. Критерии загруженности представляют потребность заявок или совокупностей заявок в ресурсах системы. Критерии равномерности определяют потребление ресурсов системы в интервале расписания. Будут различаться критерии равномерности действий или совокупностей действий расписания и критерии равномерности всего расписания. Последний критерий рассматривается как интегральная оценка расписания. При формировании начального расписания и его оптимизации интегральные оценки будут различными.

Методы ранжирования. Оба критерия – загруженности и равномерности в зависимости от типа расписания могут иметь сложную структуру, в виду чего в правилах приоритетов необходимо применение многокритериальных методов ранжирования. Используемые в предлагаемых подходах методы ранжирования основаны на работах проф. Сафронова В.В. Иерархические связи между предложенными им методами многокритериального, многовекторного и гипервекторного ранжирования представлены в [7].

Для централизованного формирования расписаний различных типов используются две последовательно применяемые стратегии:

- конструктивная стратегия - цикличное формирование начального расписания;
- оптимизирующая стратегия обеспечивает одно- или многопроходную цикличную оптимизацию расписания.

В начале каждого цикла конструктивной стратегии для не включенных в начальное расписание заявок или совокупностей заявок осуществляется переопределение критериев загруженности. Затем многокритериальным ранжированием критериев загруженности определяется самая загруженная заявка или совокупность заявок. После этого многокритериальным ранжированием переопределяемых интегральных оценок начального расписания для нее в интервале возможных таймслотов определяется таймслот включения.

В начале каждого цикла оптимизирующей стратегии осуществляется переопределение критериев равномерности действий или совокупностей действий расписания. Затем многокритериальным ранжированием критериев равномерности определяется самое неравномерное действие расписания или совокупность действий. После этого многокритериальным ранжированием переопределяемых интегральных оценок расписания в интервале возможных таймслотов определяется таймслот перестановки, что, по крайней мере, не ухудшает интегральную оценку расписания.

Практическая значимость задач формирования расписания имеет смысл при реализации этих задач в составе интегрированной системы управления любой деятельностью. Тогда исходные данные для формирования расписания будут генерироваться системой при решении предшествующих задач, а данные полученного расписания будут использоваться последующими задачами. Как правило, интегрированные системы базируются на базах данных различной природы, что обусловило необходимость программного решения задач формирования расписания средствами СУБД. Как следствие заявки представляются агрегациями (одна из абстракций баз данных [8]), в составе которых должны быть распределяемые ресурсы системы.

Результаты формирования расписаний различных типов. На рисунках 1-9 показаны результаты программного формирования начальных и оптимизированных расписаний различных типов на основе предложенных подходов.

Множества независимых заявок присутствуют при формировании расписания за-

ятий и экзаменов. Подмножества векторов заявок присутствуют при формировании транспортных расписаний. Подмножества иерархических или сетевых структур заявок присутствуют в задачах управления проектом и мультипроектного планирования.

Расписание занятий вуза. 927 заявок (учебных поручений) на проведение занятий в 50 группах 5 курсов обучения. Учебные поручения [8] представлены агрегациями следующих компонент: дисциплина, учебный год, вид нагрузки (лекционное, практическое или лабораторное занятие), трудоемкость, кафедра, поток, группа, подгруппа, преподаватель. В тестовом задании для проведения занятий имеются 106 преподавателей и 54 аудитории. Лекционные занятия проводятся в потоках из (1-5) групп. Лабораторные занятия проводятся в лабораториях двумя преподавателями в двух подгруппах группы. На рисунках 1 и 2 представлены результаты формирования расписания. Занятия каждой группы для одной «пары» обеих недель расписания находятся одно под другим. Цветом выделены различные виды занятий: красным цветом лекционные занятия, голубым цветом практические занятия, зеленым цветом лабораторные занятия. Распределяемые ресурсы - академические группы, преподаватели и аудитории. Критерии загруженности учебных поручений и критерии равномерности занятий имеют трехвекторную структуру.

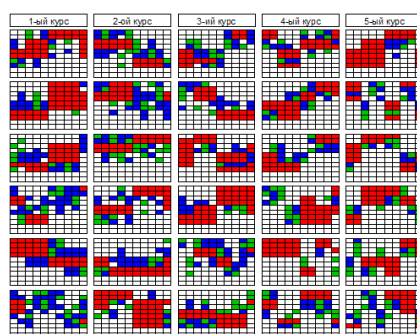


Рисунок 4 - Начальное расписание занятий вуза [9]

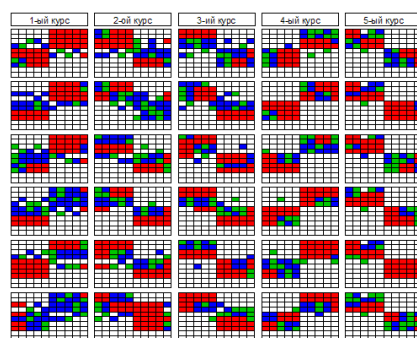


Рисунок 5 - Оптимизированное расписание занятий вуза [9]

Наиболее удобным для студентов является расписание занятий, в котором учебные дни каждой группы идентичны по количеству и времени проведения занятий.

Расписание экзаменов вуза. 150 учебных поручений на прием экзаменов в 50 группах. Учебные поручения [8] представлены агрегациями следующих компонент: дисциплина, учебный год, вид нагрузки (экзамен), трудоемкость, кафедра, поток, группа, подгруппа, преподаватель. Расписания экзаменов на рисунке 3 представлены кольцевыми структурами, в которых каждой группе соответствует одно кольцо Программное решение реализовано для «классической» организации экзаменационной сессии вуза продолжительностью три недели с двумя таймслотами приема экзаменов в день. Таким образом, все кольца разделены на 42 сегмента. Наличие экзамена у группы обозначено закраской соответствующего сегмента кольца. По периметру кольцевого представления указаны количества экзаменов, принимаемых в каждом таймслоте сессии. Равномерность расписания экзаменов вуза определяется одинаковыми интервалами между экзаменами группы

(интегральная оценка начального расписания) для студентов и одинаковыми количествами экзаменов в таймслотах сессии (интегральная оценка оптимального расписания) для равномерной загрузки аудиторий. Оба эти требования удовлетворены в оптимизированном расписании (рисунки 3 а, б).

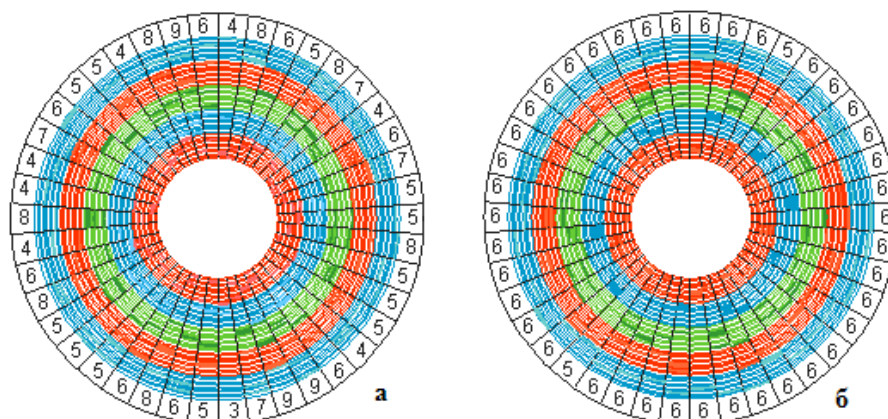


Рисунок 3 - Расписание экзаменационной сессии вуза [9]:
а) – начальное расписание; б) – оптимизированное расписание

Расписания железнодорожной сети. 4573 заявки для недельных расписаний железнодорожной сети, включающей 100 станций, 128 перегонов между ними, 100 пассажирских маршрутов, 471 поезд маршрутов в неделю. Маршрут - множество поездов с одинаковыми последовательностями станций и времени прохождения через них в разные дни интервала расписания. Заявки, представлены агрегациями следующих компонент: станция прибытия, маршрут, день недели, время прибытия, перегон, интервал времени прохождения поезда по перегону. Критерии загруженности маршрутов включают две векторные компоненты и одну скалярную. Многовекторным ранжированием определяется самый загруженный маршрут. Расписания железнодорожной сети (рисунки 4 и 5) содержат расписания движения поездов по перегонам и расписания станций. Для визуализации этих расписаний использованы представления, в которых ось времени является спиралью с отсчетом от ее начала, а длина спирали соответствует интервалу расписания. Виток спирали – наименьший период расписания, в данном случае одни сутки. Пометками на спирали фиксируется прибытие/отправление поездов. Равномерность расписаний железнодорожной сети обеспечивается выравниванием промежутков между событиями. Критерии равномерности многовекторные. Интегральная оценка расписаний – среднеквадратичное отклонение промежутков между событиями от средних значений.

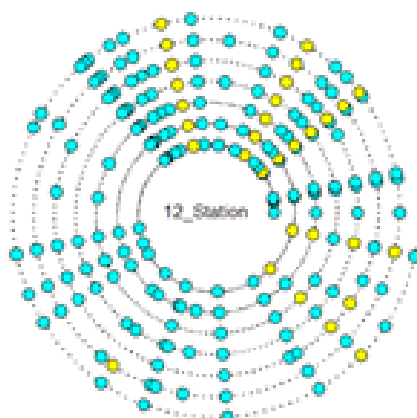


Рисунок 4 - Начальное расписание самой загруженной станции ж/д сети [9]



Рисунок 5 - Оптимизированное расписание самой загруженной станции ж/д сети [9]

Мультипроектное планирование. Решение задачи последовательно реализуется в две стадии:

1. Агрегирование заявок всех проектов – определение относительных начальных времен выполнения каждой работы в пределах интервала расписания проекта (длительности критического пути графа проекта);

2. Формирование календарного графика мультипроектного планирования - определение относительных начальных времен выполнения агрегированных проектов в пределах задаваемого или определяемого интервала расписания.

Для численных экспериментов мультипроектного планирования использовались 15 проектов, случайно выбранных из библиотеки тестовых задач PSPLib. Каждый проект включает 30 работ, связанных отношениями следования/предшествования. Каждой работе для своего выполнения необходимо потребление задаваемых объемов четырех типов ресурсов (R1, R2, R3, R4). Проектам выделяются заданные объемы четырех типов ресурсов. Время задано тактами планирования.

30 заявок для агрегирования одного из проектов. Агрегации заявок содержат следующие компоненты: проект, работа, R1, R2, R3, R4. На рисунках 6 и 7 представлены результаты агрегирования одного из проектов. В левой части находятся диаграммы Ганта работ выбранного проекта. Работы критического пути выделены красным цветом. Оставшиеся работы проекта размещены внутри интервалов их возможного размещения. В правой части представлены диаграммы потребления ресурсов проекта. Для каждого ресурса красной линией с цифровым обозначением показан уровень выделяемого проекту объема ресурса.

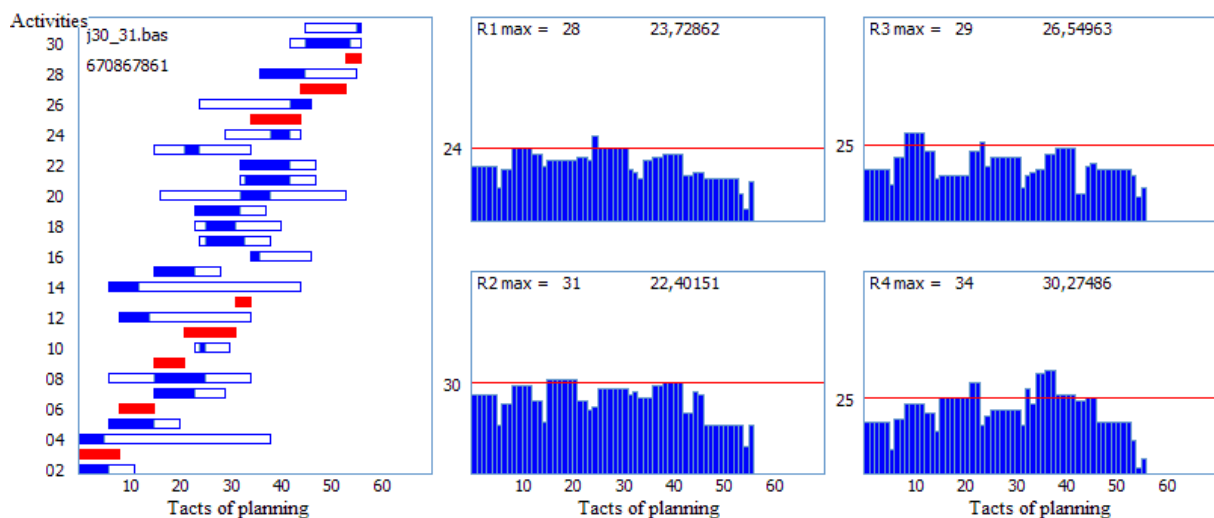


Рисунок 6 - Начальное агрегирование проекта [10].

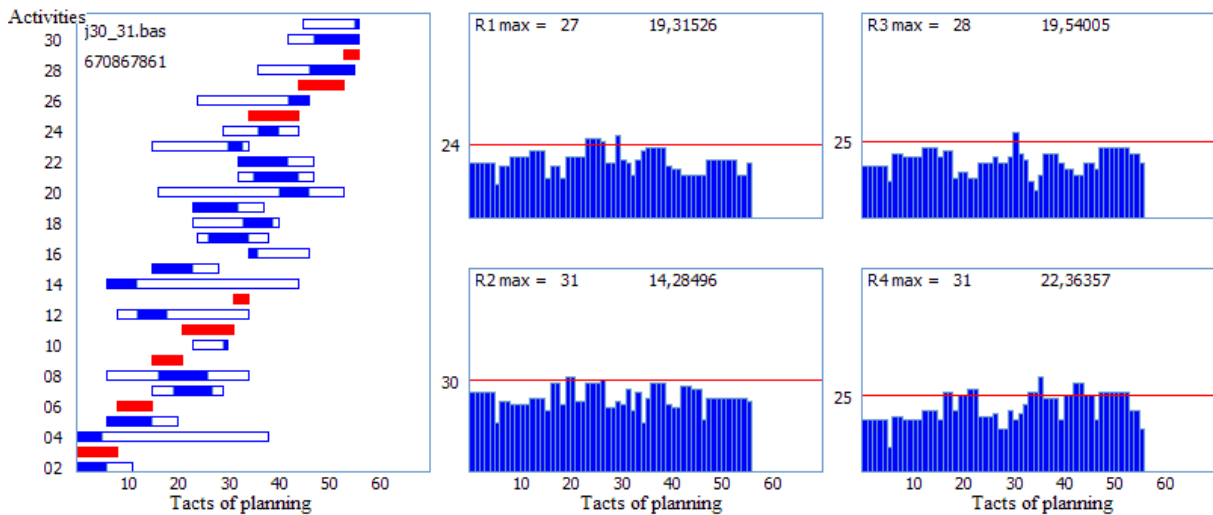


Рисунок 7 - Оптимизированное агрегирование проекта [10]

Для каждой агрегации указаны величины максимального тактового потребления ресурса и среднеквадратичного отклонения в %. Критерии загруженности работ – векторные. Интегральная оценка начального календарного графика – вектор максимальных тактовых потреблений. Интегральная оценка календарного графика – вектор среднеквадратичных отклонений.

15 заявок для мультипроектного планирования. Агрегации проектов включают следующие компоненты: проект, выделяемые ресурсы R1, R2, R3, R4. На рисунках 8 и 9 показаны результаты мультипроектного планирования. В верхней части рисунков находятся диаграммы Ганта 15 проектов при принятом интервале расписания. В нижней части показаны диаграммы потребления ресурсов на каждом такте планирования. Цифрами в диаграммах потребления ресурсов представлены максимальные значения тактового потребления ресурса и среднеквадратичное отклонение в %% от среднего значения, показанного красной линией. Для принятия решений о стратегии оптимизации начального календарного графика (рисунок 8) использован факт значительной неравномерности потребления ресурсов внутри интервала расписания.

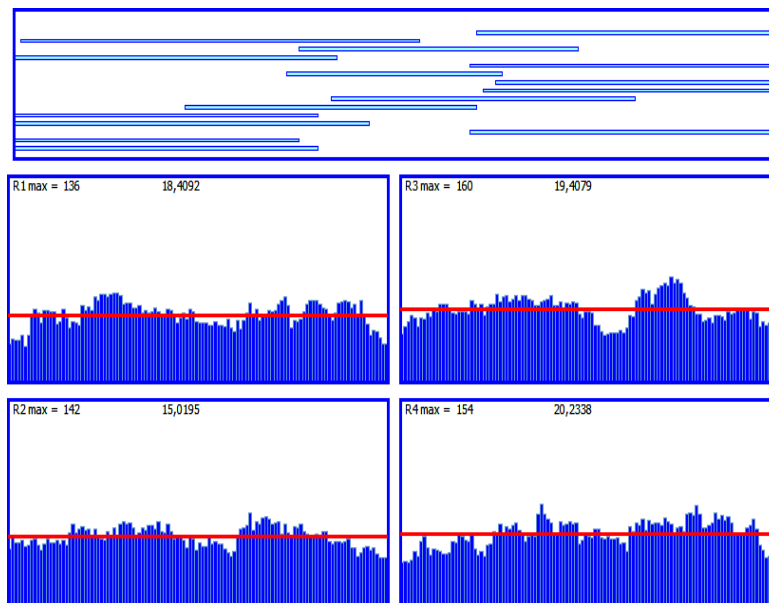


Рисунок 8 - Начальное мультипроектное планирование [10]



Рисунок 9 - Оптимизированное мультипроектное планирование [10]

Из соображений экономической эффективности необходимо достижение равномерного потребления ресурсов в интервале расписания. Это приводит к оценкам равномерности календарного графика по каждому из ресурсов - среднеквадратичному отклонению от среднего значения потребления ресурса в интервале расписания. Вектор из четырех оценок по ресурсам образует критерий неравномерности календарного графика. Выявление самого неравномерного проекта и нахождение для него наиболее благоприятного времени начала в пределах интервала расписания путем ранжирования критерия равномерности – такова стратегия каждого цикла оптимизации. На рисунке 9 представлены результаты оптимизированного мультипроектного планирования.

Заключение. Представлены подходы к централизованному формированию расписаний различных типов с использованием конструктивной и оптимизирующей стратегий. Показаны полученные результаты для расписаний различных типов.

Библиографический список

1. Browning T. R., Yassine A.A. Resource-Constrained Multi-Project Scheduling: Priority Rule Performance Revisited // International Journal of Production Economics. 2010. №126 (2). P. 212-228.
2. H. Elfiky, A. Owida, N.M. Galal. Resource constrained multi-project scheduling using priority rules. Application in the Deep-water Construction Industry. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Dubai, UAE. March 10-12. 2020. P. 353-363.
3. Singh A. Resource Constrained Multi-Project Scheduling with Priority Rules & Analytic Hierarchy Process // Proc. of 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013, Procedia Engineering, 2014, № 69, pp. 725 – 734.
4. Dalfard V.M., Ranjbar V. Multi-Projects Scheduling with Resource Constraints & Priority Rules by the Use of Simulated Annealing Algorithm // Tehnički vjesnik. 2012. №19(3), pp. 493-499.
5. Chakraborty R.K., Sarker R.A., Essam D.L. Resource Constrained Multi-project Scheduling: A Priority Rule Based Evolutionary Local Search Approach. In: Leu G., Singh H., Elsayed S. (eds) Intelligent and Evolutionary Systems. Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization, vol 8. 2017. Springer, Cham. P. 75-86.
6. Kolish R. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: theory and computation // Eur. J. Oper. Res. 1996. V. 90, № 2. P. 320-333.
7. Клеванский Н.Н., Красников А.А., Сапаров Е.К. Иерархия методов ранжирования. В сборнике: Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий

АПК. Материалы V Международной научно-практической конференции. Под редакцией С.И. Ткачева. Саратов, 2021. С. 113-123.

8. Клеванский Н.Н., Глазков В.П., Воронкова И.В., Мавзовин В.С. Абстракции баз данных в концептуальном моделировании интегрированной системы управления учебным процессом вуза // Современные наукоемкие технологии. 2021. - № 8. – С. 94-100.

9. N.N. Klevanskiy, M.A. Antipov, A.A. Krasnikov. Cognitive aspects of timetable visualization: support decision making // Procedia Computer Science. 2017, № 103. P. 94-99.

10. N.N. Klevanskiy, S.I. Tkachev, L.A. Voloshchouk. Multi-Project Scheduling: Multicriteria Time-Cost Trade-Off Problem // Procedia Computer Science. 2019, № 150. P.237-243.

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ПОРТАЛА НЕПРЕРЫВНОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Власенко А.Е., Сизикова И.Л.,
Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал
Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования
Министерства здравоохранения РФ,
Новокузнецк, Россия, zhilina.ngiuv@yandex.ru*

Аннотация. В непростых современных условиях при значительном увеличении нагрузки на врачей и других специалистов здравоохранения, особую актуальность приобретают различные формы образовательной деятельности, которые, наряду с традиционными методами очного обучения, включают в себя и различные дистанционные системы. Одной из таких форм является создание и размещение на Портале непрерывного медицинского и фармацевтического образования Минздрава России интерактивных образовательных модулей.

Ключевые слова. Портал непрерывного медицинского образования, интерактивный образовательный модуль, методы обработки информации, системный анализ, моделирование данных, экспертиза нетрудоспособности, организация статистического учета, опыт разработки информационных систем в здравоохранении.

Abstract. In difficult modern conditions, with a significant increase in the burden on doctors and other healthcare professionals, various forms of educational activities are becoming particularly relevant, which, along with traditional methods of full-time education, include various distance forms. One of these forms is the creation and placement of interactive educational modules on the Portal of Continuing Medical and Pharmaceutical Education of the Ministry of Health of the Russian Federation.

Keywords. Portal of continuing medical education, interactive educational module, methods of information processing, system analysis, data modeling, disability expertise, organization of statistical accounting, experience in the development of information systems in healthcare.

В условиях пандемии covid-19 в 2020-2021 гг. значительно сократились возможности как проведения выездных циклов повышения квалификации преподавателями системы дополнительного образования для медицинских работников на различных территориях нашей страны, так и приезда иногородних специалистов здравоохранения к месту учебы. В этих условиях получили развитие различные формы дистанционного образования.

Достаточно удачными из них являются интерактивные образовательные модули (ИОМ), создаваемые преподавателями дополнительного послевузовского образования для размещения на Портале непрерывного медицинского и фармацевтического образования Минздрава России [1]. Медицинские специалисты могут самостоятельно зарегистрироваться на Портале в личном кабинете и выбрать модули и программы, необходимые им в практической деятельности, для самостоятельного обучения. При этом специалистам на Портале предоставляется наглядный материал ИОМ, который включает в себя:

– паспорт интерактивного модуля с необходимыми пояснениями по структуре

ИОМ;

- рабочую демонстрацию (презентацию, фильм, видео-лекцию);
- тестовые задания (вопросы, ситуационные задачи).

Освоение представленного материала – достаточно важный этап для последующей аккредитации медицинского специалиста.

На кафедре медицинской кибернетики и информатики Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации преподавателями создан целый ряд интерактивных модулей, охватывающий более десяти необходимых тем для изучения. Материалы разработаны в соответствии с профессиональными медицинскими стандартами [2] и законом «Об основах охраны здоровья граждан» [3].

Пользоваться интерактивными образовательными модулями могут как медицинские специалисты – организаторы здравоохранения, так и практические врачи различных специальностей. Так например, трудовые функции практически всех медицинских специальностей (организация здравоохранения, анестезиология-реаниматология, гастроэнтерология, дерматовенерология, детская хирургия, инфекционные болезни, кардиология, лечебное дело, неврология, нейрохирургия, оториноларингология, офтальмология, педиатрия, пульмонология, сердечно-сосудистая хирургия, скорая медицинская помощь, терапия, травматология и ортопедия, ультразвуковая диагностика, урология, фармация, фтизиатрия, хирургия, челюстно-лицевая хирургия, эндокринология и др.) включают в себя необходимость в знаниях и умениях проведения анализа медико-статистических показателей, организации деятельности медицинского персонала, проведения анализа по заболеваемости, инвалидизации, смертности в соответствии со стандартами указанных специальностей [2]. Для решения этих задач были созданы интерактивные модули, в которых использован материал учебных пособий и публикаций авторов-разработчиков:

- «Введение в статистический анализ в медицине» [4];
- «Организация статистического учета в медицинских организациях» [2, 7];
- «Методы обработки информации в медицинских исследованиях» [4, 6, 7];
- «Системный опыт разработки и функционирования информационных технологий в здравоохранении» [5];
- «Понятия моделирования и прогнозирования, их место в медицинских исследованиях и практическом здравоохранении» [6, 8].

В рамках трудовых функций «Управление процессами деятельности медицинской организации, управление структурным подразделением медицинской организации» для специалистов по организации здравоохранения и других врачебных специальностей разработаны следующие интерактивные модули с использованием публикационных материалов авторов:

- «Права и обязанности пациента» [9];
- «Правовое обеспечение экспертизы временной нетрудоспособности» [9];
- «Системный анализ в медицине и здравоохранении» [10];
- «Повышение доступности качественной медицинской помощи» [10].

Темы «Методы обработки информации» и «Качество медицинской помощи» очень широкие, поэтому по ним было разработано несколько интерактивных образовательных модулей.

В Паспортах ИОМ приведены основные сведения о модуле: трудоемкость, целевая аудитория, автор-составитель, рецензенты материалов, литература. Представлены аннотация, актуальность, основные результаты освоения ИОМ, структура презентации.

Например, актуальность модуля «Введение в статистический анализ в медицине» звучит следующим образом:

«Тема интерактивного модуля включает изучение и корректное применение в практической и исследовательской работе медицинских специалистов основ статистического анализа. Знания, умения и навыки, приобретенные обучаемыми в ходе изучения темы, необходимы для повышения эффективности практической деятельности врачей, а также и в научной медицинской деятельности.

В соответствии с современными подходами знание и умение корректно применять статистические методы необходимо не только для выполнения различных отчетов, но и при подготовке квалификационных работ на медицинскую категорию, написанию статей к публикации в медицинских журналах, подготовке докладов на специализированные научно-практические конференции, написанию диссертационных работ.

Знание основ статистического анализа, умение корректно применять основные статистические методы поможет практическому врачу и научному медицинскому работнику быстро и качественно провести анализ состояния своих пациентов, доказать или опровергнуть эффективность метода лечения, изучить необходимую динамику показателей и т.д. Умение пользоваться современным компьютерным инструментарием при анализе своих материалов позволит медицинскому работнику выполнить исследование более качественно и значительно быстрее по сравнению с расчетом информации вручную. В связи с этим особое значение приобретает знание того, как провести исследование, корректно составить и проанализировать базу данных, грамотно описать полученные результаты.

Таким образом, материалы представленного интерактивного образовательного модуля помогут научно-практическим медицинским работникам без отрыва от своей основной деятельности актуализировать полезные знания по основам статистического анализа в медицине».

Презентации интерактивных модулей разработаны компетентными специалистами в представленных областях, содержат актуальные темы, поэтому широкий доступ к данным материалам имеет большое значение. Тестовые вопросы, разработанные в соответствии со слайдами презентации позволяют закрепить полученные знания.

Из недостатков представленной дистанционной формы дополнительного последипломного образования можно отметить некоторую методическую неустойчивость разработки ИОМ. Сначала инструкции и шаблоны для подготовки ИОМ были представлены разработчикам модулей специалистами Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, что и было взято за основу создания материалов. Через полтора года были существенно изменены требования к разработке модулей, появились методические рекомендации, подготовленные Центром развития непрерывного медицинского и фармацевтического образования Российского национального исследовательского медицинского университета имени Н.И. Пирогова. Выполнение требований нескольких достаточно объемных методических материалов приводит к дополнительной потере рабочего времени преподавателей-разработчиков ИОМ, у которых и так весьма интенсивная рабочая нагрузка.

Тем не менее, авторы полагают, что интерактивные образовательные модули – это вполне жизнеспособная система в дистанционных образовательных технологиях и имеет право на существование в дополнение к очной форме обучения.

Библиографический список

1. Портал непрерывного и фармацевтического образования Минздрава России <https://edu.rosminzdrav.ru/spo0/spravochne-materiali/dlja-specialistov-zdravookhraneniya/spravochnye-materialy-dlja-specialistov/rabota-s-obrazovatelnyimi-ehlementami-na-portale-nepreryvnogo-medicinskogo-i-farmaceuticheskogo-obrazovaniya-minzdrava-rossii/> Работа с образовательными элементами - Дата обращения 9.09.2021.

2. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования <http://fgosvo.ru/docs/69/0/2/2> - Профессиональные стандарты. Дата обращения

1.09.2021.

3. Справочная правовая система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.consultant.ru> Федеральный закон "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" от 21.11.2011 N 323-ФЗ (последняя редакция).

4. Жилина Н.М. Методы обработки информации в медицинских исследованиях : учебное пособие / Наталья Михайловна Жилина. – Новокузнецк : НГИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 2019. – 115 с.

5. Чеченин Г.И., Жилина Н.М., Якушева О.Н. Создание электронного здравоохранения с системных позиций/ Г.И. Чеченин, // Врач и информационные технологии. - 2018. - № 3. – С.18-28.

6. Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Власенко А.Е. Аналитический опыт оценки и моделирования состояния здоровья населения на основе многолетней информации электронных баз данных / // Научно-методический сетевой журнал РМАНПО «Педагогика профессионального медицинского образования» № 2/21, 2021. [https://www. profmedobr.ru/articles/analiticheskij-opyt-ocenki-i-modelirovanija-so-stojanija-zdorovja-naselenija -na-osnove-mnogoletnej-informacii-jelektronnyh-baz-dannyh/](https://www.profmedobr.ru/articles/analiticheskij-opyt-ocenki-i-modelirovanija-so-stojanija-zdorovja-naselenija-na-osnove-mnogoletnej-informacii-jelektronnyh-baz-dannyh/) дата обращения 4.05.2021.

7. Жилина Н.М., Климантова И.П., Баран О.И., Чеченин Г.И. Некоторые показатели смертности населения крупного промышленного региона и города Сибири // М.: Электронный научный журнал «Социальные аспекты здоровья населения» №2, 2020 (66) <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1151/30/lang,ru/> Дата обращения 30.04.2020 DOI: 10.21045/2071-5021-2020-66-2-7 .

8. Anna Vlasenko and Natalia Zhilina. Mother and Child Health Care System Based on the Analysis of Population Databases and Clinical and Immunological Characteristics of an Individual Patient/ CEUR Workshop Proceedings, Vol-2727 urn:nbn:de:0074-2727-8; p. 146-152 / <http://ceur-ws.org/Vol-2727/paper19.pdf>. Дата обращения 10.11.2020. ISSN 1613-0073

9. Захарова Е.В., Сизикова И.Л. Общественное здоровье и здравоохранение, экономика здравоохранения: (практикум) / Абакан: Издательство ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», 2021. – 200 с.

10. Чеченин Г.И. Системный подход и системный анализ в здравоохранении и медицине / монография Г.И. Чеченин. Новокузнецк 2011г. ББК 51 .1 (2). Множительный центр ИПК 65441 - 347 с.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА SCHNEIDER ELECTRIC

Кубарев В.А., Аврангшоев А.Б., Кучик М.М., Сарсембин А.О., Галлямова О.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kubarev.sibsiu@list.ru*

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос создания информационно-измерительной системы на базе контроллера Schneider Electric, предложена функциональная схема, структурная схема и техническая структура информационно-измерительной системы пригодной для сбора данных их анализа, синтеза и настройки систем автоматического управления электроприводами как постоянного тока, так и с асинхронными и синхронными двигателями. Информационно-измерительная система пригодна как для использования в учебных, так и промышленных целях.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, электропривод, образование, структурная схема

Abstract. The paper considers the issue of creating an information and measurement system based on a Schneider Electric controller, a functional diagram, structural and technical structure of an information and measurement system suitable for collecting data for their analysis, synthesis and tuning of automatic control systems for electric drives, both direct current and asynchronous and synchronous motors. The information-measuring system

is suitable for use in educational and industrial purposes.

Keywords: information-measuring system, electric drive, education, block diagram.

Современный электропривод должен содержать в качестве информационного модуля систему сбора, обработки, отображения и сохранения информации о состоянии исследуемых сигналов – ИИС. В перспективе, развитие этого направления приведёт к созданию информационно-управляющих систем (ИУС), включающих в свой состав разрабатываемую ИИС, и далее к созданию самонастраивающихся адаптивных систем контроля и управления технологическими процессами (ТП) [1].

Поэтому для учебных целей на базе оборудования Schneider Electric для лаборатории 319 г. разработана информационно-измерительная система на основе связки контроллер – промышленный компьютер (ПК), что даёт преимущества по сравнению с промышленными компьютерами с платами сбора данных (дистанционное исследование большого количества сигналов). Контроллер отвечает за измерение величин исследуемых сигналов, ПК – за их отображение и регистрацию.

Проектируемая ИИС осуществляет регистрацию шестидесяти четырёх дискретных и восьми аналоговых сигналов, на основании чего выделены следующие функциональные блоки: для регистрации дискретных сигналов – потенциального разделения информационных каналов, определения состояния сигнала по каждому из каналов; для аналоговых – потенциального разделения, нормализации исследуемого сигнала (подавление высокочастотных помех), определение величин сигналов по каждому из информационных каналов; блок обработки первичной информации (сбор информации с исследуемого объекта), а также блок сетевых средств передачи информации (передача данных о состоянии объекта исследования в ПК).

Разработана функциональная схема контроллерной части ИИС, отражающая основные функции (целевые назначения), выполняемые отдельными частями системы. Такими функциями в проектируемой ИИС являются: получение информации о состоянии объекта, преобразование сигналов, сравнение сигналов и т.п.

Также определён и функциональный состав ПК. Выделим следующие функциональные блоки: блок сетевых средств передачи информации (приём информации от контроллера), конечной обработки (масштабирование, подготовка данных для отображения осциллограмм аналоговых сигналов и состояния дискретных, сохранения, осуществление диалога с оператором), отображения, сохранения.

Функциональная схема ИИС представлена на рисунке 1.

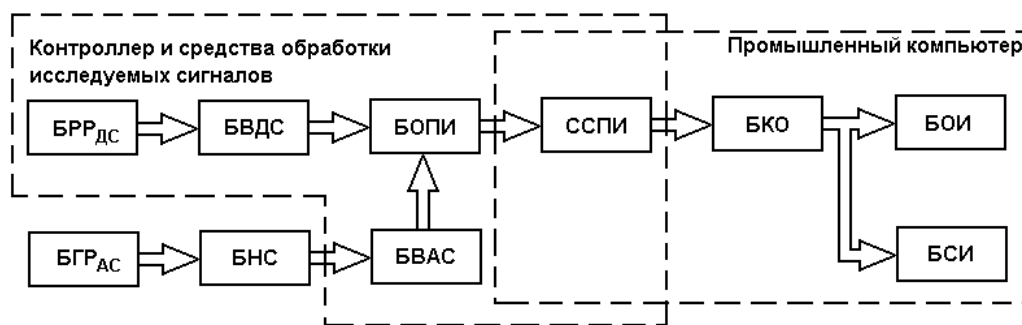


Рисунок 1 – Функциональная схема ИИС.

На рисунке 1 обозначены следующие блоки:

БРР_{ДС} – Блок релейной развязки дискретных сигналов. В состав блока входят четыре клеммные колодки (с твёрдотельными паяными реле), осуществляющие развязку шестнадцати дискретных входных каналов. Всего БРР_{ДС} осуществляет потенциальное разделение и подключение (максимально для выбранной конфигурации, но при использовании большего количества модулей ввода дискретных сигналов это число можно увели-

чить) к БВДС шестидесяти четырёх исследуемых дискретных сигналов с характеристиками, отражёнными в таблице 2.

БВДС – Блок ввода дискретных сигналов. В состав блока входит модуль ввода шестидесяти четырёх дискретных сигналов. Характеристики этого модуля представлены в таблице № 4.

БГР_{АС} – Блок гальванической развязки аналоговых сигналов. Данные технические средства не представлены в каталогах фирмы Schneider Electric, поэтому возникает необходимость осуществлять разделение входных цепей изделиями других фирм-производителей. Хотя сами модули ввода аналоговых сигналов обеспечивают защиту до 1000 В.

БНС – Блок нормализации сигнала. Так как ИИС производится измерение восьми аналоговых сигналов с максимальной частотой 330 Гц, то возникает необходимость защиты измерительных каналов от высокочастотных помех, возникающих в кабелях из за наводок, практически неизбежных в условиях производства. Блок представляет собой плату (также не являющуюся изделием фирмы Schneider Electric), осуществляющую фильтрацию входных аналоговых сигналов, для «обрезания» высокочастотных составляющих сигнала.

БВАС – Блок ввода аналоговых сигналов. В состав блока входят два модуля измерения величины восьми аналоговых сигналов (каждый модуль измеряет четыре аналоговых сигнала) и две клеммные колодки для подведения к модулям измерения исследуемых сигналов, а также соединительные кабели.

БОПИ – Блок обработки первичной информации. В состав блока входят: шасси расширения (служит для установки всех модулей контроллера, в том числе блока питания контроллера) и модуля центрального процессора контроллера. Данный блок осуществляет сбор всей оцифрованной информации и передаёт её в сетевой модуль контроллера для передачи в промышленный компьютер (ПК).

ССПИ – Сетевые средства передачи информации. Служат для передачи собранной информации о состоянии исследуемых сигналов в ПК. К этим средствам относятся: сетевой модуль контроллера, сетевой кабель, сетевая карта ПК.

БКО – Блок конечной обработки информации. В этот блок входят: центральный процессор (ЦП) ПК, оперативная и другие виды памяти ПК. Блок осуществляет: приём информации от ССПИ, масштабирование сигналов, отправляет выбранные оператором сигналы в БОИ и сохранение всех сигналов в БСИ.

БОИ – Блок отображения информации. Служит для отображения изменения выбранных оператором сигналов. В состав блока входят: видеокарта ПК, соединительный кабель, монитор.

БСИ – Блок сохранения информации. Осуществляет сохранение измерительной информации в энергонезависимую память (на SSD-диск).

Система обеспечивает управление началом и концом регистрации сигналов, связывая их с командами оператора посредством клавиатуры.

Характеристики измеряемых дискретных и аналоговых сигналов приведены соответственно в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Характеристики измеряемых дискретных сигналов

Параметр	Характеристика
Логика	Положительная
Рабочий диапазон изменения величины исследуемого сигнала, В	0..24
Предельные входные значения	
<i>В состоянии логической 1</i>	

Продолжение таблицы 1

Параметр	Характеристика
Напряжение, В	≥ 11
Ток, мА	≥ 3
<i>В состоянии логического 0</i>	
Напряжение, В	≤ 5
Ток, мА	$\leq 1,5$
Максимальное время реакции на изменение состояния сигнала, с	0,007
Типовое время реакции на изменение состояния сигнала, с	0,004

Таблица 2 – Параметры измеряемых аналоговых сигналов

Параметр	Характеристика
Рабочий диапазон изменения величины исследуемого сигнала, В	± 10
Допустимая перегрузка, В	± 30
Частота выборки исследуемого сигнала, Гц	1000

На рисунке 3 приведена структурная схема проектируемого устройства. Используем следующие графические обозначения структурных элементов схемы [2]:

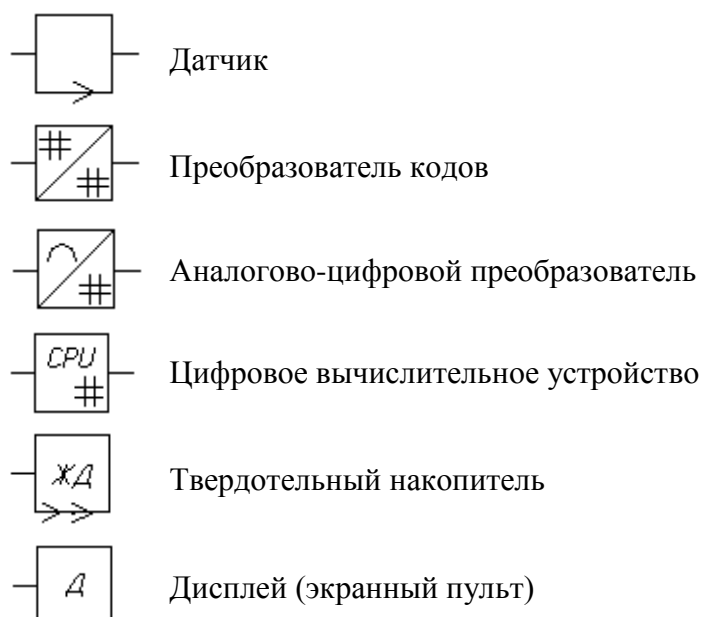


Рисунок 2 – Графические обозначения структурных элементов ИИС

На структурной схеме представлены датчики 1 (1.1.1-1.1.64 – датчики дискретных сигналов; 1.2.1-1.2.8 – датчики аналоговых сигналов). Модули оцифровки входной информации 2 (2.1 – блок ввода дискретных сигналов; 2.2 – блок ввода аналоговых сигналов). Блок 3 – процессор контроллера, осуществляющий цифровую обработку сигнала. Блоки 4 и 5 – отвечают за передачу информации из контроллера в компьютер (4-ый блок

шифрует информацию и пересылает её в 5-ый, который дешифрует полученные данные и передаёт информацию для обработки в процессор компьютера). В 6-ом блоке в соответствии с алгоритмом функционирования программы производится цифровая обработка полученного сигнала. 7-ой блок является блоком сохранения и отображения величин входных аналоговых сигналов и состояния дискретных (7.1 – жёсткий диск – сохранение; 7.2 – монитор компьютера – отображение). 8.1 – системная шина (шасси расширения), 8.2 – материнская плата промышленного компьютера.

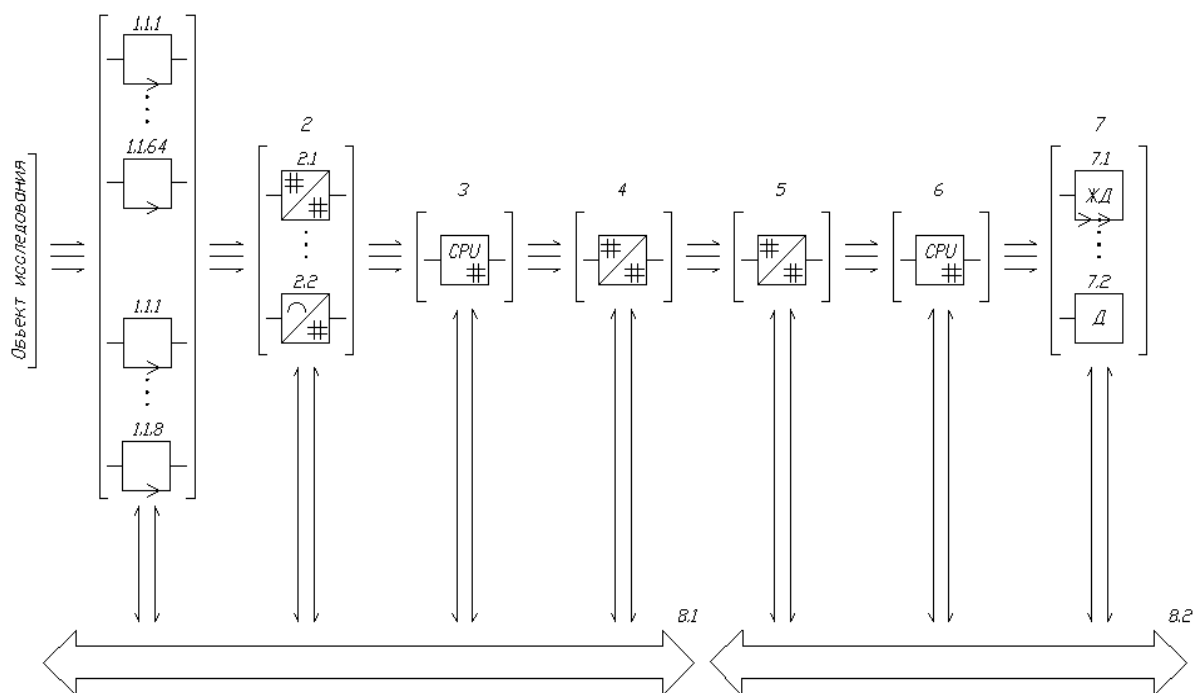


Рисунок 3 – Структурная схема ИИС.

На основании функциональной и структурной схем составлена техническая структура проектируемой системы и выбрано оборудование.

Техническая структура содержит следующие элементы:

- винтовые клеммные колодки для подключения шестнадцати дискретных сигналов к модулю ввода дискретных сигналов (4 шт.);
- модуль ввода дискретных сигналов (1 шт.);
- винтовые клеммные колодки для подключения четырёх аналоговых сигналов к модулю ввода аналоговых сигналов (2 шт.);
- модули ввода аналоговых сигналов (2 шт.);
- модуль контроллера (1 шт.);
- блок питания контроллера и устройств первичной обработки сигнала (1 шт.);
- шасси расширения (1 шт.);
- сетевой модуль (1 шт.);
- промышленный компьютер {системный блок, монитор, источник бесперебойного питания (ИБП), клавиатура, и т.д.} (1 шт.);
- соединительные кабели;
- сетевой кабель;
- устройства развязки входных измерительных цепей.

Техническая структура ИИС представлена на рисунке 4.

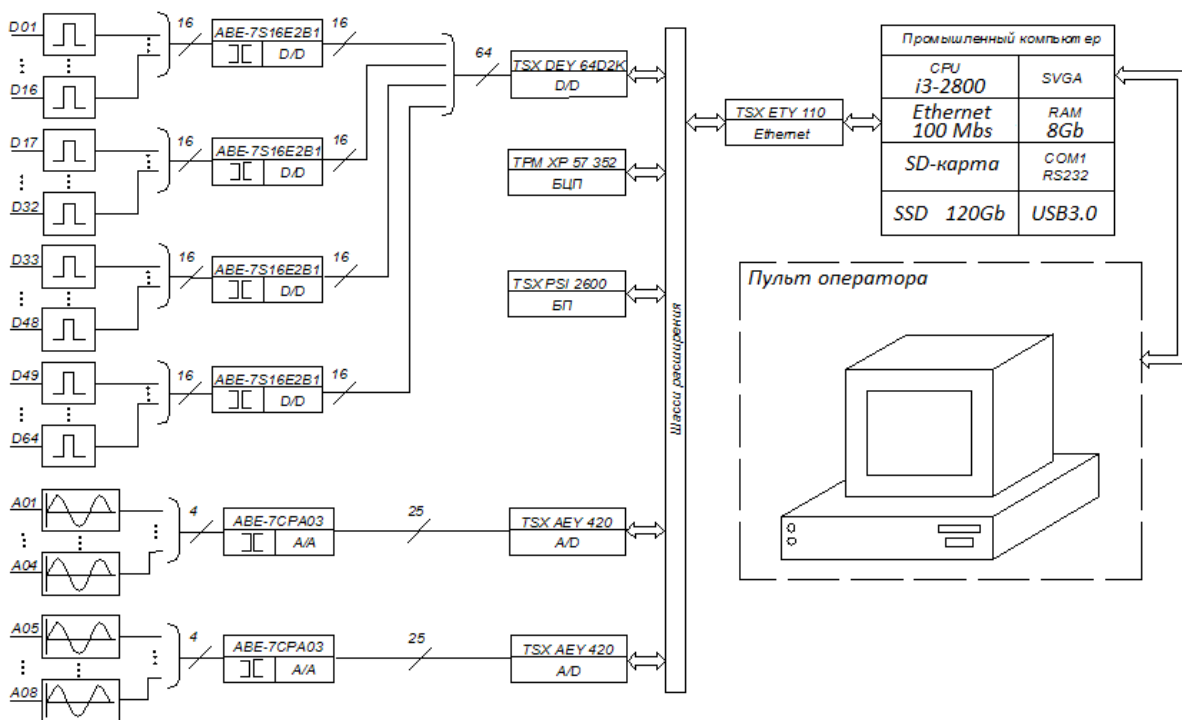


Рисунок 4 – Техническая структура ИИС.

Библиографический список

1. Е. П. Балашов, Д. В. Пузанков. Проектирование информационно-управляющих систем. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с. ил.
2. С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.
3. М. П. Цапенко. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, схмотехническое проектирование. – М.: Энергоатомиздат, 1985, – 440 с.
4. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера. – М.: Мир, 1992. – 592 с.
5. Теория управления. Терминология. Вып. 107. / Отв. ред. Б. Г. Волик М.: Наука, 1988. — 56 с.

НОРМИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ В ЗАДАЧАХ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ

Пронин С.Ю., Добрынин А.С.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Задачи построения расписаний широко распространены в проектной и операционной деятельности. Одним из ключевых факторов повышения точности планирования и формирования сбалансированных планов, графиков выполнения работ является оценка продолжительности их выполнения, а также нормирование. В докладе представлены подходы к нормированию, основанные на применении метода прецедентов и восстановительно-прогнозирующего нормирования.

Ключевые слова: планирование; расписание; нормирование; прецедентный подход

Abstract. Scheduling tasks are widespread in design and operations. One of the key factors in improving the accuracy of planning and the formation of balanced plans, work schedules is the assessment of the duration of their implementation, as well as rationing. The report presents approaches to standardization based on the use of the precedent method and restorative-predictive regulation.

Keywords: planning; timetable; stimulation; regulation; case-based approach

Нормирование работ для расписаний

Задачи составления расписания работ для проектной или операционной деятельности предполагают известную нормативную длительность выполнения каждой работы. Они широко распространены на практике и описаны в некоторых трудах [1, 2, 3, 4]. Распространенные методы нормирования длительности часто выполняющихся работ (хронометражные наблюдения, исследования данных текущей эксплуатации машин и агрегатов, определение нормативов с учетом режимов работы оборудования и декомпозиции работ (тактовый подход), метод косвенной экспертизы) характеризуются достаточно высокой трудоемкостью, редкостью обновления нормативов, слабой помехозащищенностью, неполным учетом фактора активности агентов – исполнителей работ.

К числу относительно новых процедур нормирования длительности и других характеристик регулярно выполняемых производственных операций (работ) относится метод восстановительно-прогнозирующего нормирования (ВПН), включающий ретроспективную оптимизацию характеристик операций, впервые опубликованный в докладе [5] и развитый позднее в работах [6, 7]. Также, в последнее время получил широкое распространение метод аналогий, подобия и прецедентов [8], который позволяет строить управленческие решения в организациях, допустим расписания, опираясь на успешно реализованные в прошлом решения. Совмещение элементов восстановительно-прогнозирующего нормирования (ВПН) и прецедентного подхода позволяет получать качественные управленческие решения, а также гибкие расписания, ориентированные на изменения и пожелания заказчика (потребности бизнеса).

Процедура восстановительно-прогнозирующего нормирования

Рассмотрим алгоритм ВПН в упрощенном представлении:

1. Восстановление рациональной (приблизленно оптимальной или скорректированной) длительности l -й выполненной работы (операции):

$$\tau^{\text{в}}(l) = \tau(l) - \Delta\tau_1(l), \quad (1)$$

где $\tau^{\text{в}}(l)$ – восстановленная (ретроспективно оптимизированная) длительность выполнения l -й работы;

$\tau(l)$ – измеренная (фактическая) длительность l -й работы;

$\Delta\tau_1(l)$ – ретроспективная скорректированная поправка, учитывающая различие между запланированными и фактическими условиями и результатами работы, которые могут быть определены в соответствии с выражением ниже:

$$\Delta\tau_1(l) = \alpha_1[x_1(l) - x_1^*(l)] + \alpha_2[x_2(l) - x_2^*(l)] + \dots + \alpha_n[x_n(l) - x_n^*(l)] \quad (2)$$

в которой $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ – коэффициенты, установленные посредством динамической идентификации или на основе правила равновзвешенного вклада; $x^*(l)$ и $x(l)$ – заданные (плановые) и фактические значения определяющих переменных, параметров многофакторной среды.

2. Приведение рациональной длительности l -й работы (операции) к базовым условиям, в соответствии со следующим соотношением:

$$\tau^{\text{пп}}(l) = \tau^{\text{в}}(l) - \Delta\tau_2(l), \quad (3)$$

где $\tau^{\text{пп}}(l)$ – образцовая длительность работы, приведенная к базовым условиям, которые характеризуются усредненными, за соответствующий период, или указанными значениями определяющих переменных;

$\Delta\tau_2(l)$ – ретроспективная поправка, учитывающая отклонение определяющих переменных работы от их базовых или заданных значений.

3. Осреднение базовых рациональных длительностей аналогичных работ соответственно интервалу нормирования (сутки, неделя, месяц):

$$\widetilde{\tau}^{\text{mp}} = \text{med}\{\tau^{\text{mp}}(l), \tau^{\text{mp}}(l-1), \dots, \tau^{\text{mp}}(l-m+1)\}, \quad (4)$$

где $\widetilde{\tau}^{\text{mp}}$ – осредненная базовая рациональная длительность,
 \overline{m} – интервал осреднения (сутки, неделя, месяц).

4. Многомодельная экстраполяция ряда приведенных длительностей однотипных работ. При этом настроечные параметры используемых экстраполяторов: эталонных долгосрочных (месячных) $\tau_{\text{дл}}^3(l) = \tau_6^3(j_m + 1)$, среднесрочных интервальных (фиксированный интервал времени) $\tau_{\text{ср}}^3(l) = \tau_6^3(j_n + 1)$, краткосрочных (суточных) $\tau_{\text{кк}}^3(l) = \tau_6^3(j_c + 1)$ – должны быть существенно различными. Экстраполированное значение длительности принимается в качестве базового норматива $\tau_{\text{дл}}^*(l)$, $\tau_{\text{ср}}^*(l)$, $\tau_{\text{кк}}^*(l)$ для соответствующего используемого интервала планирования.

5. Коррекция базового норматива с учетом условий предстоящей (планируемой) работы l , например, посредством соотношения, которое для краткосрочного (суточного) норматива имеет вид:

$$\tau_{\text{к}}^*(l) = \tau^*(j_c + 1) = \tau_6^*(j_c + 1) + \Delta\tau(j_c + 1), \quad (5)$$

где $\Delta\tau(j_c + 1)$ – поправка, учитывающая отличия условий предстоящего $(j_c + 1)$ – го/ периода работы от базовых условий, которая определяется выражением:

$$\Delta\tau(j_c + 1) = b_1[x_1^* - x_1(j_c + 1)] + b_2[x_2^* - x_2(j_c + 1)] + \dots + b_n[x_n^* - x_n(j_c + 1)], \quad (6)$$

где x^* , $x(j_c + 1)$ – базовое и планируемое значения определяющей переменной;
 b_1, b_2, \dots, b_n – пересчетные коэффициенты.

Приведенная выше упрощенная процедура (схема применения) восстановительно-прогнозирующего нормирования является практически пригодной для вычисления нормативных длительностей периодически выполняемых работ, в соответствии с составленным расписанием, она позволяет получать качественные оценки времени и, следовательно, более точное решение задачи.

Структура алгоритма определения нормативной длительности представляет собой по сути двухканальную схему (рисунок 1).



Рисунок 1 – Двухканальная схема восстановительно-прогнозирующего нормирования длительности регулярных работ

На рисунке 1 : $\tau(l)$ – измеренная длительность l -й работы; $\tau_1(l), \dots, \tau_m(l)$ – измеренная длительность составных частей l -й работы; $\tau_1^r(l), \dots, \tau_m^r(l)$ – ретроспективно восстановления рациональная (приближенно оптимальная) длительность составных частей l -й работы; $\tau^{\text{np}}(l)$ – рациональная длительность l -й работы, приведенная к базовым усло-

виям; $\tilde{\tau}^{mp}(l)$ – оценка среднего базового значения, соответственно интервалу нормирования; $\tau_{бк}^3, \tau_{бс}^3, \tau_{бд}^3$ – экстраполированные значения длительности для разных интервалов нормирования; $\tau_{бк}^*, \tau_{бс}^*, \tau_{бд}^*$ – краткосрочный, среднесрочный, долгосрочный рациональный норматив длительности работы l

Первый канал алгоритма реализует действия 1,2,3 применительно к длительности работы в целом, а второй – к длительности ее частей. При этом объединение канальных оценок приведенных длительностей $\{\tau^{mp}(l)\}, \{\tau_i^{mp}(l)\}$ производится путем вычисления их полусуммы. Определение суточных (краткосрочных), недельных (среднесрочных) и месячных (долгосрочных) оценок $\tilde{\tau}_c^{mp}(j), \tilde{\tau}_н^{mp}(j), \tilde{\tau}_м^{mp}(j)$ осуществляется посредством релейно-экспоненциального сглаживания (РЭС-1) и осреднения внутриинтервальных значений.

Пример применения ВПН применительно к задаче определения краткосрочных (суточных) нормативных длительностей плавки стали в 100-тонной дуговой сталеплавильной печи приведен на рисунке 2. Последний отображает динамику измеренных длительностей $\{\tau(l), l = 1, 2, 3 \dots\}$, из которых исключены простои печи, связанные с текущими ремонтами.

Восстановление рациональной длительности (ретроспективная оптимизация) плавки осуществлялось с учетом таких определяющих факторов, как температура металла после расплавления, содержание в нем марганца, кремния, углерода.

Приведение длительности плавки к базовым условиям выполнено с учетом влияния марки стали. Для этого был произведен анализ наиболее часто выплавляемых марок стали и определены оценки приращений длительности плавки по отношению к базовой (часто выплавляемой) марке стали.

Для краткосрочной экстраполяции динамического ряда приведенных (базовых) длительностей плавки $\{\tau^{mp}(l), l = 1, 2, 3, \dots\}$ использован алгоритм линейно-экспоненциального сглаживания в сочетании с простой сдвижкой. Экстраполированные значения базовых длительностей $\{\tau_b^3(l+1); (l+1) = 2, 3, \dots\}$ принимаются в качестве базовых нормативов $\{\tau^*(l+1); (l+1) = 2, 3, \dots\}$, на основе которых определяются средние (за прошедшие сутки) базовые нормативы для предстоящих $(j+1)$ -х суток $\{\tau_c^*(j+1); (j+1) = 2, 3, \dots\}$. Корректировка базового норматива с учетом условий предстоящих плавки производилась путем введения аддитивных поправок на заданную марку стали, химсостав чугуна и ферросплавов. Найденные нормативные длительности рекомендуются к использованию при построении сменно-суточного контактного графика (расписания) работы электросталеплавильного цеха (рисунок 2).

Описанную выше процедуру метода ВПН целесообразно использовать для регулярно повторяющихся работ относительно малой длительности, например, для выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (8-12 плавки в сутки) или в 300-тонных конвертерах (20-25 плавки в сутки).

Для нормирования более продолжительных и относительно редко выполняемых работ, например, для работ проектной деятельности, в том числе связанной с разработкой программных продуктов [9], а также по внесению изменений в действующие проекты, предлагается использовать интеграцию прецедентного подхода к принятию решений [8] и метода ретроспективной оптимизации длительности и других характеристик планируемых работ [5]. При этом важно уточнить вопросы практического применения методов восстановительно-прогнозирующего нормирования и прецедентного подхода. Восстановительно-прогнозирующее нормирование применяется в ситуациях, близких к операционной деятельности, когда однотипные работы регулярно воспроизводятся во времени, что характерно для задач сервисного обслуживания, поддержки и сопровождения ИТ-процессов и т. д. Прецедентный подход в большей степени применим к уникальным, в своем роде, проектным задачам, которые существенно варьируются при переходе от одного проекта к другому.

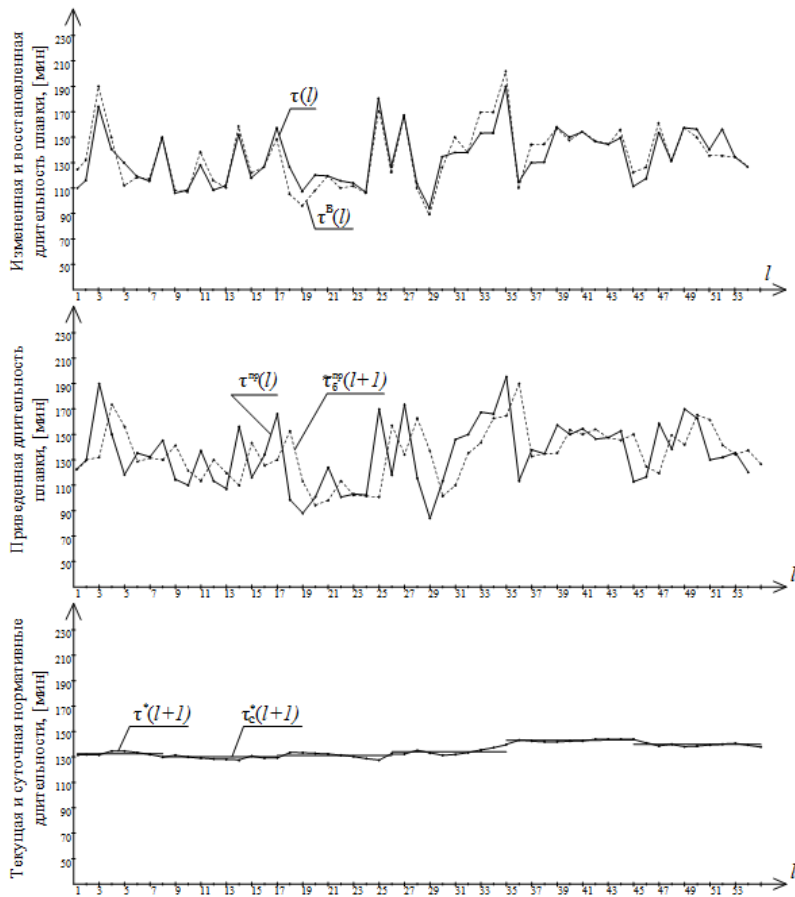


Рисунок 2 – Оценивание нормативной длительности плавки методом ВПН

Сущность прецедентного подхода к управлению сложными объектами (в частности, к выработке нормативных длительностей планируемых работ) заключается в том, что для принятия решений по выбору управляющих воздействий (нормативов) используется предыдущий опыт управления данными объектами в похожих ситуациях. Прецедент – это случай, имевший место ранее и служащий примером или образцом случаев подобного рода. Соответственно, в периодически повторяющихся ситуациях функционирования любых сложных систем могут быть повторно приняты управляющие решения, эффективность которых продемонстрирована в прошлом.

Метод принятия решений на основе прецедентов наглядно представляется графически в виде прецедентного цикла, CBR-цикла (case-based reasoning) (рис. 3).

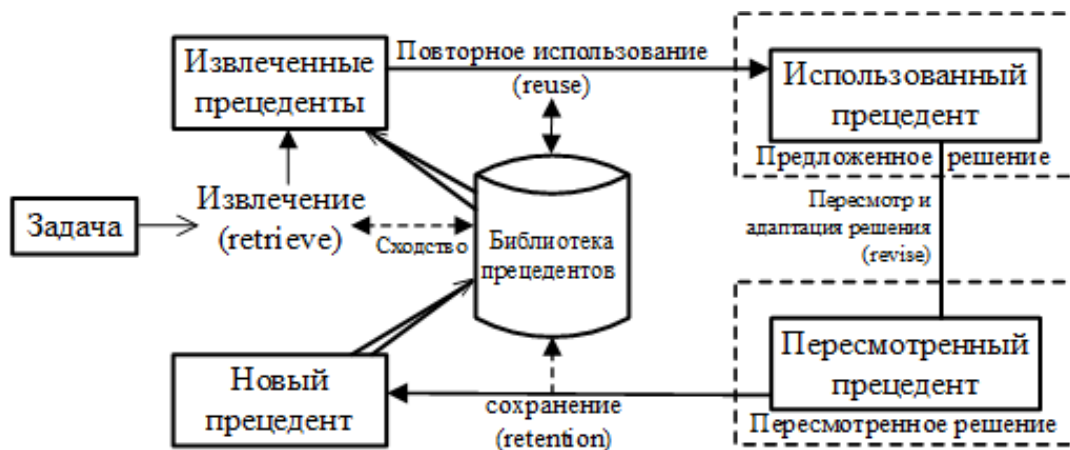


Рисунок 3 – Схема классического CBR-цикла принятия решений

В общем случае для задачи управления из библиотеки прецедентов извлекаются прецеденты, которые в большей степени соответствуют исходным условиям выбора управляющего решения. Далее из небольшого количества прецедентов выбирается один, который берется за основу при принятии решения (использованный прецедент). В случае необходимости прецеденты уточняются, пересматриваются и проявляются в новых решениях.

Задачу отбора прецедентов целесообразно сформулировать как задачу выбора таких ранее выполненных подобных комплексов работ, которые имеют наименьшую длительность выполнения при условии учета обязательных ограничений: совпадения назначения и требуемых результатов работ, аналогичность состава основных работ, подобие используемых активов, соответствие заданному сроку давности выполненных работ. Основные этапы прецедентного подхода к управлению проектной деятельностью представлены ниже.

Выбор для нового проекта, лучшего прецедента – ранее реализованного проекта и, при необходимости, экспертное внесение поправок в нормативы длительности работ, относящихся к прецеденту.

Составление расписания на разработку и внедрение комплекса работ нового проекта с использованием нормативов длительности, соответствующих прецеденту.

Мониторинг процесса реализации комплекса работ нового проекта с фиксацией их характеристик, включая фактическую длительность.

Ретроспективная оптимизация длительностей выполненных работ нового комплекса с удалением устранимых простоев, зафиксированных системой мониторинга.

Сохранение информации о новом комплексе работ и их нормативов длительности в базе данных прецедентов, с последующим выбором актуального прецедента для нового проекта.

Заключение

Рассмотрены методики нормирования работ при составлении расписаний в проектной и операционной деятельности, основанные на интеграции техник восстановительно-прогнозирующего нормирования и прецедентного подхода. Представленные механизмы позволяют решать задачи проектного и операционного управления для сложных практических случаев управления, составления расписаний.

Библиографический список

1. Клеванский Н. Н. К вопросу о задаче формирования расписания занятий вуза / Н. Н. Клеванский, А. А. Пузанов, С. А. Костин // Моделирование и управление в сложных информационных системах: Сборник научных статей. – Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2004. – С. 20 – 28.
2. Сотсков, Ю. М. Задача теории расписаний на смешанных графах / Ю. М. Сотсков // Теория и методы автоматизации проектирования / Акад. наук Белорус. ССР. Минск : АН БССР, 1980. – С. 19 – 22.
3. Сотсков, Ю. Н. Сетевые модели в теории расписаний / Ю. Н. Сотсков // Оптимизация, принятие решений, микропроцессорные системы. – София : ИТКР БАН, 1985. С. 157 – 162.
4. Танаев, В. С. Теория расписаний / В. С. Танаев. М.: Знание. – 1988. – 40 с.
5. Авдеев, В. П. О восстановительно – прогнозирующем регулировании технологических процессов / В. П. Авдеев, Л. П. Мышляев, В. Н. Соловьев // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978 – №10 – С. 165 – 168.
6. Авдеев, В. П. Построение моделей в системах управления / В. П. Авдеев // Изв. вузов. Черная металлургия. 1981. № 12. С. 100 – 105.
7. Авдеев, В. П. Восстановительно – прогнозирующие системы управления / В. П. Авдеев, В. Я. Карташов, Л. П. Мышляев, А. А. Ершов // Кемерово: Изд-во КемГУ, 1984. – 89 С.

8. Варшавский, П. Р. Реализация методов поиска решения на основе аналогий и прецедентов в системах поддержки принятия решений / П. Р. Варшавский, А. П. Еремеев // Вестник МЭИ, № 2, 2006. – С.77-87.

9. Добрынин А.С., Койнов Р.С., Кулаков С.М. Модель неполного жизненного цикла программного обеспечения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 2. С. 65-70.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ К ПРОТИВОПРАВНОМУ ПОВЕДЕНИЮ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЁЖИ

Киндяков А.А., Каган Е.С.

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия, c006781@yandex.ru

***Аннотация.** Данная статья посвящена разработке автоматизированной системы для комплексной оценки склонности студенческой молодёжи к противоправному поведению. Данная система осуществляет процесс сбора и обработки данных. В статье приводится описание информационной модели данных, являющейся начальным прототипом будущей информационной системы, содержащей математический блок, позволяющий проводить разбиение молодежи на классы риска.*

***Ключевые слова:** база данных, комплексные оценки, противоправное поведение молодежи.*

***Abstract.** This article is devoted to the development of an automated system for a comprehensive assessment of the tendency of student youth to express unlawful behavior. This system carries out the data collection and processing process. The article describes the information data model, which is the initial prototype of the future information system, containing a mathematical unit that allows the user to group young people into risk classes.*

***Keywords:** database, comprehensive evaluations, unlawful behavior of youth*

В последние десятилетия одной из острых социально-политических проблем стала проблема экстремизма. На фоне обострившихся социально-политических конфликтов, угроз терроризма, увеличения миграционных потоков усиливаются ксенофобские и националистические настроения.

Основным носителем экстремистских тенденций выступает молодежь как наиболее импульсивная и подверженная внешним влияниям часть общества, в которой наиболее быстро происходит накопление и реализация негативного протестного потенциала.

Растущая склонность представителей молодого поколения к экстремизму выражается в том, что при оценке молодыми людьми общественной ситуации преобладают радикализм и агрессия. Подростково-молодежный экстремизм основан на культивировании принципа силы, агрессии в отношении окружающих, вплоть до насилия и убийства. Он предполагает непримиримость к инакомыслящим, а также стремление к созданию тоталитарного сообщества, основанного на подчинении [1,2].

Особенностью студенческой среды КемГУ является ее полиэтничный характер, обусловленный существенным приростом количества иностранных студентов, приезжающих из стран ближнего зарубежья. Все это актуализирует проблему противоправного поведения в молодежной среде и обуславливает необходимость изучения его природы и особенностей.

Соответствующая работа по выявлению склонности студентов к противоправным действиям, проявляющимся через такие диспозиции как агрессия, интолерантность, культ силы, деструктивность и цинизм, оценка их уровней и выделение классов риска, способных в дальнейшем привести к экстремистским проявлениям, является одной из задач де-

тельности различных структур университета, направленной на разработку и проведение своевременных профилактических мероприятий.

В данной статье рассматривается подход к разработке автоматизированной системы комплексной оценки склонности молодежи к противоправному поведению. Назначением программы является выявление негативных явлений в студенческой среде с целью ранней диагностики и проведения профилактических мероприятий

Для комплексной оценки уровня противоправного поведения студенческой молодежи за основу была выбрана методика, изложенная в работе [3]. В качестве диагностических категорий из данной методики на первоначальном этапе исследования были отобраны 6 диспозиций: культ силы, допустимость агрессии, деструктивности и цинизм, нормативный нигилизм, интолерантность и конвенциональное принуждение.

Каждая диспозиция оценивалась через 6 вопросов - утверждений. Формулировка некоторых вопросов по сравнению с авторской была несколько изменена, для более легкого их восприятия иностранными студентами. Респондентам необходимо было высказать свое отношение к каждому утверждению по 5-балльной шкале: 1- категорически не согласен, 5 – совершенно согласен. Оценка уровня каждой диспозиции проводилась путем сложения вариантов ответов 6 утверждений.

Так как на первоначальном этапе исследования отсутствовала обучающая выборка, то для формирования условных норм для опроса использовалась гугл-форма. Исследование проводилось анонимно.

Было опрошено 760 студентов КемГУ: 292 юноши и 468 девушек. Для каждой диспозиции отдельно по мужской и женской выборкам были определены условные нормы и сформулированы правила формирования «классов опасности».

Помимо этого, для каждого утверждения была проведена оценка коэффициента Кронбаха, позволившая выделить вопросы, нуждающиеся в корректировке [4]. Авторы работы [3] утверждали, что предлагаемая группа диспозиций является составляющими одного единого интегрального показателя.

Однако проведенный факторный анализ [5] показал, что диспозиция «нормативный нигилизм» может быть исключена из комплексной оценки, так как имеет наименьшую факторную нагрузку и мало связана с исследуемой интегральной оценкой.

На втором этапе исследования к оставшейся группе утверждений были добавлены ряд утверждений, позволяющих оценить: шкалу лжи, уровень конформизма и уровень киберкоммуникативной зависимости. Предполагается, что последние два показателя могут выступать как отягощающие факторы риска, что будет проверено в дальнейшем исследовании. Кроме того учитывается вероисповедание респондентов и их ценностные ориентации.

Помимо вышеизложенного, в программу был включен тест Люшера, позволяющий оценивать психофизиологическое состояние человека, его стрессоустойчивость. Данная методика является проективной и основана на том, что выбор цвета отражает направленность человека на определенного рода деятельность удовлетворения потребностей, отражает его функциональное состояние.

Во втором этапе приняли участие 1336 студентов.

Так как для оценки уровня каждой диспозиции используется шкала Лайкерта, представляющая собой 6 утверждений, оцениваемых ранговой шкалой, то для перевода ранговых данных в количественную шкалу используется нечеткий подход [6, 7].

Третий этап исследования посвящен разработке информационной системы для выявления и формирования групп риска, соответствующих различному уровню степени выраженности противоправного поведения студенческой молодежи.

Необходимость разработки информационной системы заключается в систематизации и централизации данных, полученных в результате опроса студентов.

Конечные пользователи информационной системы – руководство университета, центр изучения этноконфессиональных конфликтов и противодействия экстремизму в молодежной среде, дирекции институтов, кураторы групп.

Разрабатываемая автоматизированная программа должна представлять собой информационную систему (ИС) и соответствовать выдвигаемым требованиям.

ИС должна осуществлять: систематизированный централизованный сбор и хранение данных; содержать группу алгоритмов, позволяющих осуществлять как комплексную оценку интегрального показателя, характеризующего уровень склонности респондента к противоправному поведению, так и основных его составляющих (диспозиций), с использованием инструментария элементов нечетких множеств; содержать группу алгоритмов, позволяющих осуществлять разбиение студентов на классы риска по уровням «опасности»; выгружать отчёты в Microsoft Office.

На основании выше изложенных требований была разработана логическая модель ИС [8,9]

Первая часть модели ИС включает в себя базу данных, которая хранит:

- а) список используемых тестов и методик для анкетирования, состав которых может изменяться и корректироваться при необходимости;
- б) список анкетлируемых с информацией о них;
- в) ответы анкетлируемых;
- г) алгоритмический блок, содержащий алгоритмы, работающие на основе теории нечетких множеств;
- е) шаблоны для создания отчётов.

Разработанная логическая модель (ER -диаграмма базы данных) рассматриваемой предметной области «Комплексной оценки склонности к противоправному поведению студенческой молодёжи», состоящей из 11 сущностей представленная на рисунке 1.

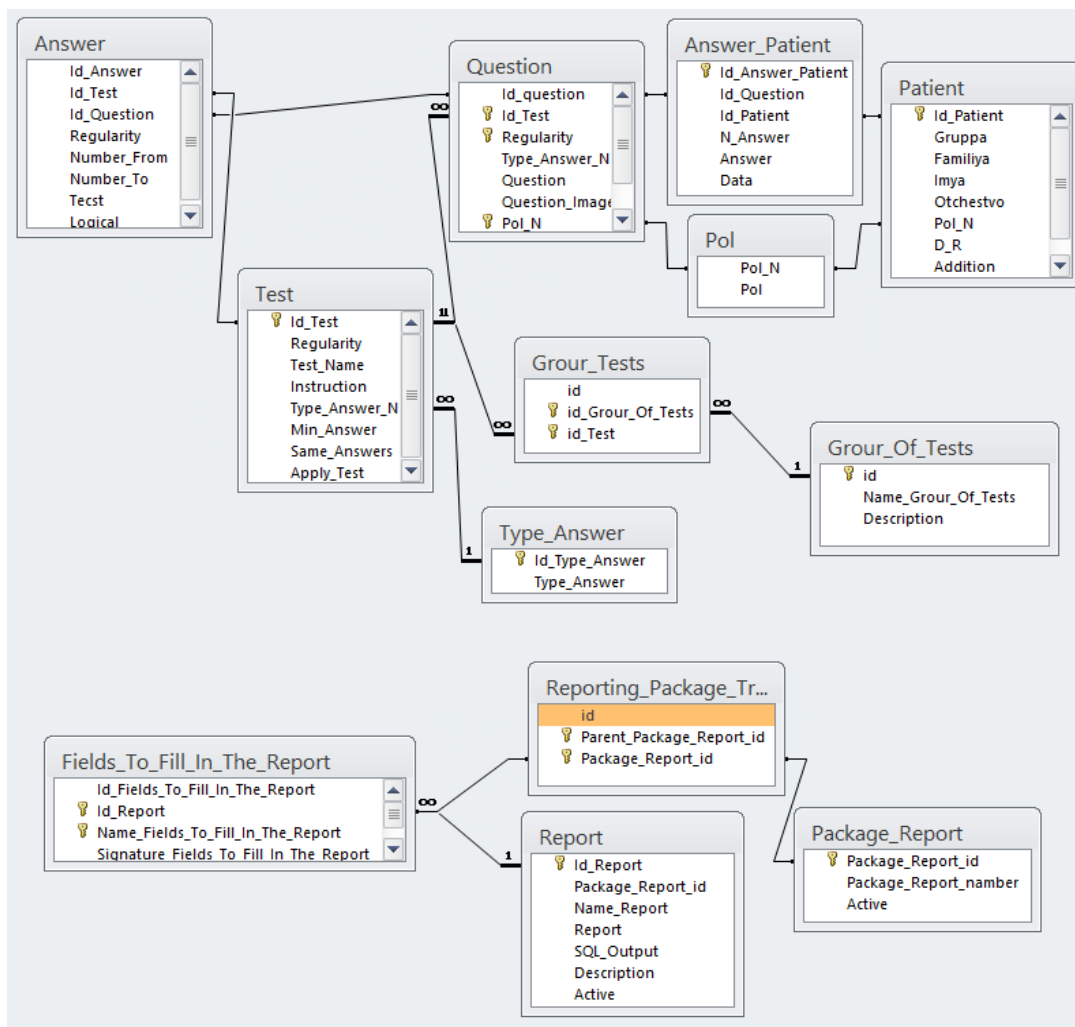


Рисунок 1 - ER -диаграмма базы данных

Вторая часть модели ИС представляет собой интерфейс, предоставляющий следующие возможности:

- 1) студенту - пройти тестирование;
- 2) администратору и/или куратору, проводящему анкетирование и отвечающему за данное исследование, система предоставляет разрешение для проведения настройки и/или редактирование системы, использования шаблонов отчетов и вывода отчетов.

Окно главного меню представлено на рисунке 2.

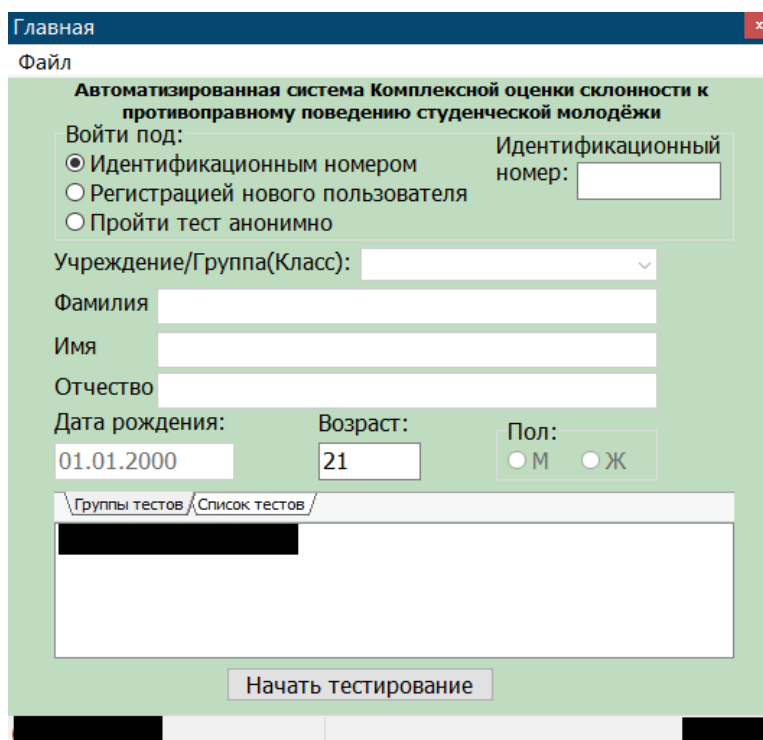


Рисунок 2 - Окно главного меню

Структура информационной системы разрабатывается с учетом необходимости решения различного круга задач, связанного с выявлением групп риска.

При разработке интерфейса была реализована возможность быстрого редактирования тестов, возможности быстрой адаптации алгоритмов, входящих в алгоритмический блок, осуществляющих анализ и обработку данных; модификации шаблонов отчетов и самих отчетов.

Общая структура программной части АИС приведена на рисунке 3.

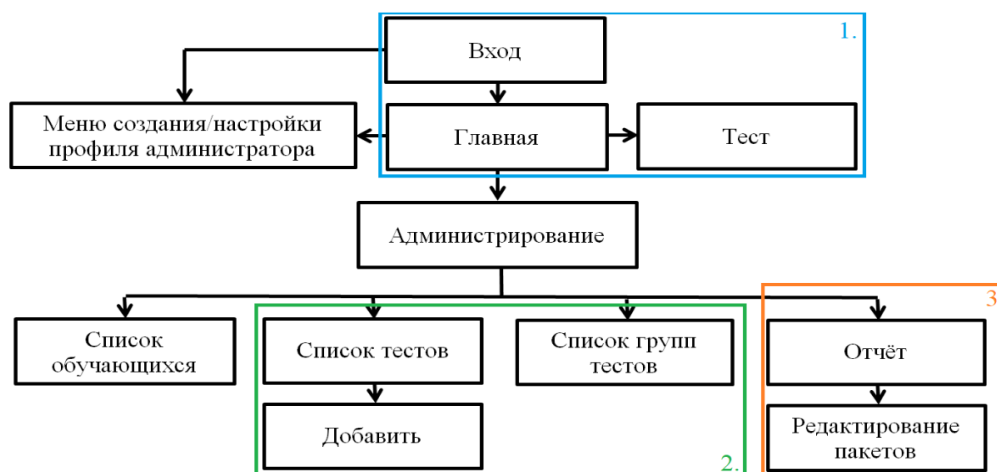


Рисунок 3 - Общая структура программной части АИС

Как показано на рисунке 3 общая структура программы АИС содержит в себе три группы окон:

- 1) набор окон, доступный пользователю;
- 2) группа окон для редактирования тестов;
- 3) группа таблиц для создания и вывода результатов отчетов.

Работа информационной системы начинается с автоматизации процесса тестирования обучающихся. Данная информация поступает в алгоритмический блок, где на основе группы нечетких алгоритмов осуществляется комплексная оценка, различных диспозиций, характеризующих склонность респондентов к противоправному поведению, а также группы показателей, выступающих в роли факторов риска. На основании этой информации и алгоритмов классификации производится разбиение студентов на группы риска.

Данная автоматизированная система позволит соответствующим структурным подразделениям получать информацию для разработки профилактических мероприятий и выстраивать траектории профилактической работы.

АИС работает на платформах Windows, начиная от Windows 7. Опрос обучающихся может быть реализован как на одном компьютере, так и на нескольких компьютерах, соединённых локальной сетью.

После апробации АИС на локальной сети планируется осуществить перенос базы данных на сервер университета. Такой перенос позволит осуществлять более быстрый и качественный обмен информацией, единую централизацию данных, возможность получения отчетов по запросу в реальном времени.

Библиографический список

1. Некрасова Е.В. Экстремизм и его особенности в молодежной среде/Е.В. Некрасова// Вестник СПбГУ. Сер. 12. 2011. № 4. С. 432-439.
2. Официальный портал органов государственной власти Тюменской области https://admtiumen.ru/ogv_ru/block/actuals/prokur_explain/more.htm?id=11377217@cmsArticle
3. Давыдов Д. Г., Хломов К. Д. Методика диагностики диспозиций насильственного экстремизма/ Д. Г. Давыдов, К. Д. Хломов //Психологическая диагностика. – 2017. – Т. 14. – №. 1. – С. 78-97.
4. Наследов А. Д. SPSS: Компьютерный анализ данных в психологии и социальных науках/А. Д. Наследов// СПб.: Питер, 2005. – 416 с.
5. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных/ А.А. Халафян//Учебник – М.: Бином, 2013 г. – 528 с.
6. Каган Е.С. Построение комплексных нечетких оценок эффективности деятельности вуза и публичной формализации деятельности преподавателя/Е. С. Каган//Известия Алтайского государственного университета. 2015. Т.1-1(86). С.152-157.
7. Chiu-Keung Law. Using fuzzy numbers in educational grading system // Fuzzy Sets and Systems, 1996, V. 83, 311-323 pp.
8. Архангельский, А. Я. Программирование в Delphi 7 : Методика разработ. программ для Windows. Базы данных и распределение прил. Новые технологии и инструментарий / А. Я. Архангельский ; А. Я. Архангельский. – Москва : Изд-во Бином, 2003. – ISBN 5951800420
9. Карвин Б. Программирование баз данных SQL [Текст] : типичные ошибки и их устранение / Б. Карвин; [пер. с англ. – М. Райтман]. – Москва : Рид Групп, 2012. – 332 с. – (Профессиональные компьютерные книги.); ISBN 978-5-4252-0510-0

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОРТАЛА НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ НФИ КЕМГУ

Ткачева Е.А.

Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, Россия, Katrindesuart@gmail.com

Аннотация. Целью данной работы является разработка пользовательского интерфейса портала научной библиотеки НФИ КемГУ. В работе решены следующие задачи: описан объект автоматизации, проведен обзор существующей версии портала научной библиотеки НФИ КемГУ, изучены основные эргономические принципы при проектировании пользовательских интерфейсов.

Ключевые слова: разработка, веб-дизайн, сайт, проектирование веб-интерфейса, пользовательский веб-интерфейс, пользователь, портал научной библиотеки

Abstract. The purpose of this work is to develop the user interface of the portal of the scientific library of the NBI KemSU. The following tasks are solved in the work: the automation object is described, the review of the existing version of the portal of the scientific library of the NBI KemSU is carried out, the basic ergonomic principles in the design of user interfaces are studied.

Keywords: development, web design, website, web interface design, web user interface, user, scientific library portal

Актуальность данной темы заключается в том, что большинство людей для поиска необходимой информации или оплаты каких-либо услуг предпочитают именно интернет. Сейчас сайт имеет каждая организация, так как это повышает аудиторию и прибыль, ведь о новых местах или мероприятиях узнают быстрее всего именно онлайн. Особенно это удобно для государственных учреждений, таких как университет.

Пользовательский веб-интерфейс часто понимают только как внешний вид программы. Однако пользователь воспринимает через ПИ всю программу в целом, а значит, такое понимание является слишком узким. В действительности ПИ объединяет в себе все элементы и компоненты программы, которые способны оказывать влияние на взаимодействие пользователя с программным обеспечением (ПО). Это не только экран, который видит пользователь. К этим элементам относятся: набор задач пользователя, которые он решает при помощи системы; элементы управления системой; навигация между блоками системы; визуальный (и не только) дизайн экранов программы; средства отображения информации, отображаемая информация и форматы; устройства и технологии ввода данных; диалоги, взаимодействие и транзакции между пользователем и компьютером; обратная связь с пользователем; поддержка принятия решений в конкретной предметной области; порядок использования программы и документация на нее.

В результате мы должны получить сайт со всеми элементами опыта взаимодействия, который работает как на стратегические цели организации, так и на потребности пользователей.

Описание объекта автоматизации

Объектом автоматизации является портал научной библиотеки НФИ КемГУ. Научная библиотека НФИ КемГУ, являясь неотъемлемой частью информационной структуры вуза, обладает универсальным фондом документов, предоставляет их в пользование читателям, обеспечивает их сохранность. На рисунке 1 представлена главная страница портала научной библиотеки НФИ КемГУ.

После анализа существующей версии портала научной библиотеки НФИ КемГУ, были отмечены *основные недостатки*: при уменьшении окна браузера количество рядов изображений книг меняется от одного до четырех (книги при такой быстрой смене местоположения очень тяжело разглядеть); становится невозможным прочтение выбранной информации, так как половина обзора, который имеет пользователь, занята большим количеством ссылок; главная страница имеет в целом большой процент наполненности;

изобилие изображений, которое ведет за собой отвлекающий характер и пользователю тяжело в таком «хаосе» сфокусироваться на нужном ему контенте.



Рисунок 1 – Главная страница портала научной библиотеки НФИ КемГУ

Основное меню портала

На главной странице портала пользователя встречает список главных пунктов меню: «О библиотеке» - в этой вкладке находится вся информация о деятельности библиотеки, документация и контактная информация; «Читателю» - расписание работы библиотеки и информация о том, как оформить читательский билет; «Ресурсы» - фонды библиотеки, различные ресурсы и новые поступления; «Услуги» - услуги, которые предоставляет библиотека НФИ КемГУ; «Сайт НФИ КемГУ» - переход на главную страницу сайта университета.

На рисунке 3 представлены ссылки на электронно-библиотечные системы «Лань», «Знаниум», «Юрайт» и расположены они по левую сторону сайта.

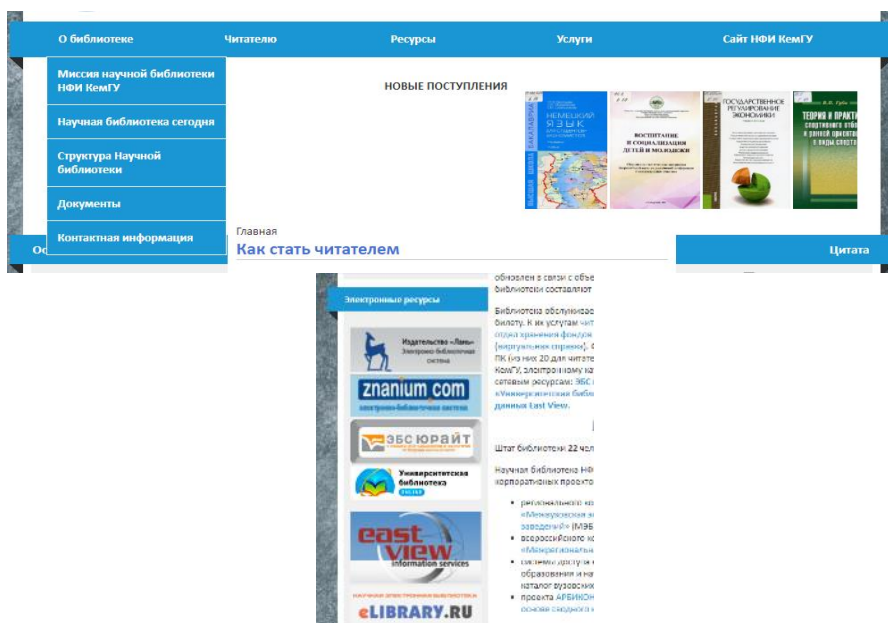


Рисунок 2 – Демонстрация выпадающего списка меню и слайдера с изображениями книжных поступлений, ссылки на электронно-библиотечные системы

Описание создания существующей версии портала научной библиотеки НФИ КемГУ

Текущая версия портала была написана на **PHP** с использованием CMS **Drupal** (система управления содержимым (CMS), используемая также как каркас для веб-приложений (CMF), использующая в качестве хранилища данных реляционную базу данных (поддерживаются MySQL, PostgreSQL и другие).

Основные эргономические принципы при проектировании пользовательского веб-интерфейса

Пользовательские веб-интерфейсы имеют специфические проблемы пригодности использования. Эффективный веб-интерфейс является результатом того, что разработчик уделяет внимание данным, с которыми работает пользователь, его задачам и деятельности [5].

Преимуществами хорошего пользовательского интерфейса являются: повышение конкурентоспособности; снижение стоимости разработки (непонимание программистами целей и ожиданий конечных пользователей приводит финансовую составляющую разработки к лишним затратам); увеличение аудитории продукта; доступность функциональности системы для максимального количества пользователей (плохо разработанный интерфейс резко ограничивает функциональность системы в целом). Одним из важных показателей качества программного обеспечения является удобство его использования (usability).[6]

Цель создания эргономичного интерфейса состоит в том, чтобы сделать работу за монитором конечного пользователя максимально удобной и комфортной. Для этого вводят критерии эргономичного интерфейса, включающие: естественность (интуитивность), скорость работы пользователей, количество человеческих ошибок, скорость обучения, субъективная удовлетворенность пользователей выделение элементов, организация системы навигации, поддержка пользователя, гибкость [2].

Разработка пользовательского интерфейса портала научной библиотеки НФИ КемГУ

Этапы выполнения работы. Модернизация сайта включает в себя несколько этапов: определение целей разработки сайта, проведение исследований; проектирование пользовательского веб-интерфейса; разработка дизайн-макета сайта; верстка, программирование; наполнение сайта; запуск сайта в интернете.

Пользовательские сценарии. Для разработанного пользовательского веб-интерфейса были написаны следующие пользовательские сценарии: получение информации о библиотеке: расписание работы, контактная информация, деятельность библиотеки в целом; нахождение необходимых читателю документов; информация о том, как стать читателем; пользование электронным каталогом; использование ресурсов по различным наукам; ознакомление с новым поступлением в библиотеку.

Структура страниц. Главная страница: О библиотеке (миссия научной библиотеки, научная библиотека сегодня, расписание работы, документы, контактная информация); Читателю (как стать читателем, подписка); Ресурсы (электронный каталог, библиографические ресурсы, энциклопедические справочные ресурсы); Услуги.

Цветовое решение. К успеху приходит «умный» дизайн. Что это значит? Под «умным» дизайном понимается такой дизайн, который сопровождается объяснением и аргументами к любому принятому решению. Цветовая гамма представлена на рисунке 3.

Основной цвет		#ffffff
Акцентный цвет		#00286e
Дополнительный цвет		#0d6eb5
Градации серого		#c1bfbf
		#6f6f71
		#1a1a1a
		#000000

Рисунок 3 – Цветовая гамма сайта научной библиотеки НФИ КемГУ

Шрифтовое решение. Шрифты для крупных кеглей обычно делают контрастнее, чем для мелких [4]. Для страниц данного разработанного интерфейса была выбрана шрифтовая пара: Helvetica и Ioga (антиква).

Графические элементы и модульная сетка. В данной работе используется логотип научной библиотеки, изображение читального зала, иконки социальных сетей НФИ КемГУ. При проектировании данного сайта был выбран фреймворк Bootstrap.[9]

Пользовательский веб-интерфейс портала научной библиотеки НФИ КемГУ

Выбранные программные средства. Программные средства: Adobe Photoshop CC 2017, язык разметки HTML 5.2, CSS (Cascading Style Sheets), JavaScript (скрипт меню).

Дизайн макеты страниц. В данном разделе представлен разработанный пользовательский веб-интерфейс портала научной библиотеки НФИ КемГУ, можно отметить несколько моментов. Уменьшен процент наполненности и страница содержит только нужную информацию. При наведении курсора на основное меню, появляется белая область и цвета со светлых меняются на темные для комфортного чтения. Также на главной странице размещены электронные ресурсы, при наведении курсора появляется затемнение и название данного ресурса (рисунок 4).

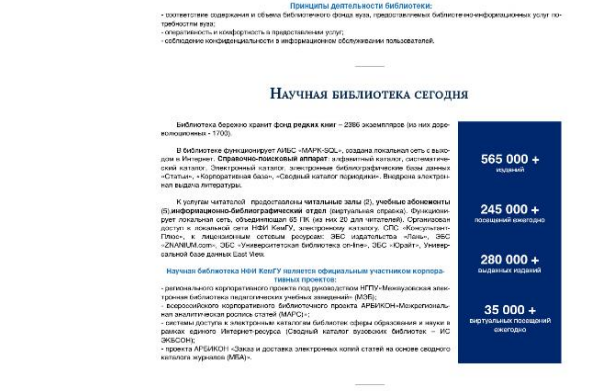
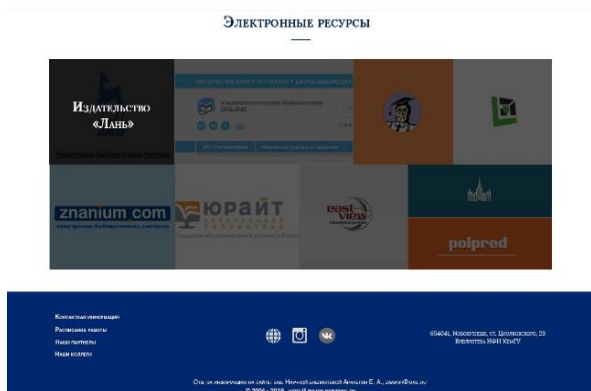
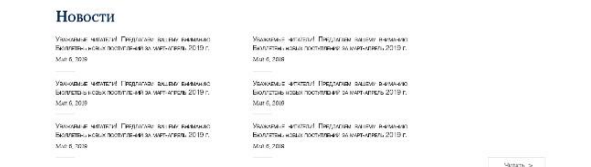
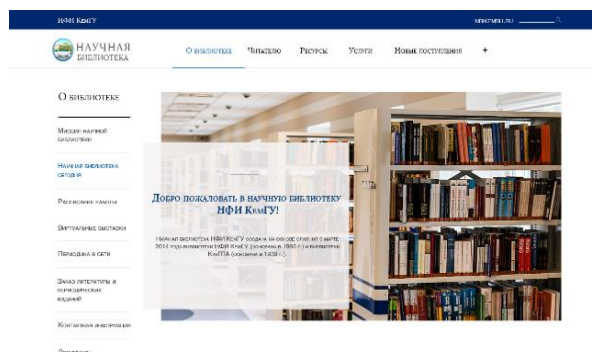
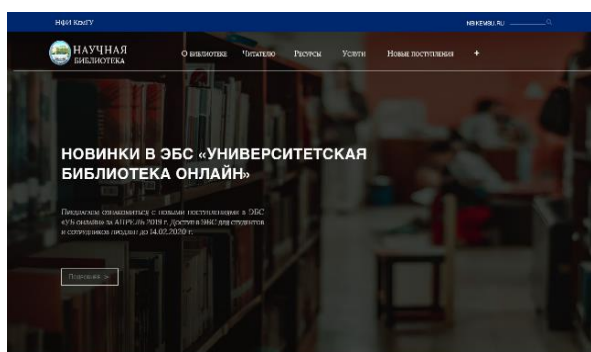



Рисунок 4 – Главная страница портала библиотеки НФИ КемГУ и пункт меню «О библиотеке»

РАСПИСАНИЕ РАБОТЫ

Читальный зал №1 (Металлургов, 19) пон.-четв.: с 8:00 до 17:00 пятница - с 8:30 до 17:00 перерыв: с 12:30 до 13:00 выходной день: суббота, воскресенье	Абонемент №1 (Щолюковского, 23) пон.-четв.: с 8:00 до 17:00 пятн.: с 8:30 до 17:00 перерыв: с 12:30 до 13:00 выходные дни: суббота, воскресенье
Читальный зал №2 (Писнерский, 13) Абонемент №3 (Металлургов, 19) Абонемент №4 (Кутузова, 12) Абонемент №5 (Кузнецова, 6) пон.-четв.: с 8:00 до 17:00 пятница - с 8:30 до 15:00 перерыв: с 12:30 до 13:00 выходные дни: суббота, воскресенье	Абонемент №2 (Писнерский, 13) пон.-четв.: с 8:00 до 18:00 пятница - с 8:30 до 17:00 перерыв: с 12:30 до 13:00 суббота - с 8:00 до 15:00 выходные дни: воскресенье
ПОСЛЕДНЯЯ ПЯТИНА МЕСЯЦА - САНИТАРНЫЙ ДЕНЬ!	Информационно-библиографический отдел (Металлургов, 19) пон.-четв.: с 8:00 до 17:00 пятн.: с 8:30 до 15:00 перерыв: с 12:30 до 13:00 выходные дни: суббота, воскресенье

ДОКУМЕНТЫ

-  [Положение о Народной библиотеке](#)
-  [Положение о платных услугах](#)

ВИРТУАЛЬНЫЕ ВЫСТАВКИ

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Этот раздел нашего сайта создан с целью поощрить фонды нашей библиотеки, познакомиться вас с наиболее ценными, интересными изданиями:

[«Советская русская литература» к 190-летию со дня рождения М. Е. Салтыкова-Щедрина](#)

[«Один в этом...» - книжная экспозиция к 200-летию со дня рождения М. Ю. Лермонтова](#)
[«Вся природа»](#)

[Лучшие издания по искусству](#)



Рисунок 5 – Страница «О библиотеке», информация раздела «Расписание работы» и «Виртуальные выставки» и демонстрация подвала страницы

Заключение

В данной работе был разработан новый пользовательский веб-интерфейс портала научной библиотеки НФИ КемГУ. При разработке были учтены все недостатки, найденные в существующей версии портала библиотеки, написаны пользовательские сценарии, на основе которых была спроектирована структура главной страницы портала, а также были приняты и аргументированы цветовое и шрифтовое решения. В ходе работы созданы дизайн-макеты портала, по которым осуществлялась верстка. Пользовательский интерфейс был разработан на основе прочитанных материалов по эргономическим принципам. Новая версия значительно облегчит работу с порталом научной библиотеки, повысит аудиторию и интерес к вузу.

Библиографический список

1. Положение об информационно-вычислительном центре [Текст]: положение, В.С. Трубецкой; НФИ КемГУ – Новокузнецк, 2017.
2. Ткачева Е.А. Выявление проблем разработки требований к пользовательскому веб-интерфейсу в России на основе анализа сайтов от айс. // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов V Международной научной конференции. В 2 частях. / под ред. О.Г. Берестневой, А.А. Мицеля, В.В. Спицына, Т.А. Гладковой; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во томского политехнического университета, 2018. – Часть 1. – С 395-400.
3. Уолтер А. Эмоциональный веб-дизайн [Текст]: учебное пособие; Манн, Иванов и Фербер - Москва, 2012. - 144 с.
4. Королькова А. Живая типографика [Текст] / А. Королькова – Москва : IndexMarket, 2012.—224 с.
5. Нильсен Я. Веб-дизайн: книга Якоба Нильсена – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2003 – 512 с.
6. «Веб дизайн: книга Джесса Гарретта. Элементы опыта взаимодействия». – Пер. с англ. – СПб.: Символ Плюс, 2008. – 192 с.: цв. ил.
7. С.Ф. Сергеев, П.И. Падерно, Н.А. Назаренко. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011.–108с.

8. Купер А. Об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия / А. Купер, Д. Кронин, Р.М. Рейманн. – Пер.с англ. – Символ–Плюс, 2009. – 688 с. Лаптев В., Модульные сетки. – Издательство РИП-Холдинг, Москва, 2007-203 с.

9. Перепелица Ф.А. Эффективная разработка веб-сайтов. Bootstrap [Текст] : учебное пособие; / Ф.А. Перепелица – СПб: Университет ИТМО, 2015.– 71 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АИС «ЭЛЕКТРОННАЯ ШКОЛА 2.0» ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ УЧРЕЖДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Федосов Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, Россия, nv.fedosovv@gmail.com*

Аннотация. В первой части статьи ведется разговор об АИС «Электронная школа 2.0», которая позволяет автоматизировать деятельность образовательных учреждений. Проводится ее обзор и описывается использование системы на практике, во второй части статьи описывается значимость дополнительных образовательных программ и важность их прохождения.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, образование, дополнительное образование, профессиональные компетенции

Abstract. The first part of the article talks about the AIS "Electronic School 2.0", which allows you to automate the activities of educational institutions. Its review is carried out and the use of the system in practice is described, in the second part of the article the significance of additional educational programs and the importance of completing them are described.

Keywords: automated information system, education, additional education, professional competencies

Автоматизированная информационная система (АИС) – это информационная система, в которой для передачи, сбора, хранения и обработки данных, используются методы и средства вычислительной техники и систем связи. [2]

Современные компьютерные технологии уверенно внедряются в воспитательно-образовательный процесс. Кабинеты оснащаются компьютерами, у каждой школы имеется доступ к сети Интернет. Лучшие школы Москвы и крупных городов России давно уже используют новейшие технологии для осуществления взаимосвязи с родителями.

Через «Электронную школу 2.0» организация проводит процесс зачисления обучающихся на дополнительные общеобразовательные программы. С помощью данной АИС возможно произвести поиск информации об обучающихся, а также хранит информацию о количестве человек в одной группе, количество самих групп и информацию о том, к какому педагогу прикреплены группы обучающихся.

АИС «Электронная Школа 2.0» позволяет реализовать 6 государственных и муниципальных услуг в сфере:

- Зачисление в образовательные учреждения;
- Предоставление информации о текущей успеваемости учащегося, ведение электронного дневника и электронного журнала успеваемости;
- Предоставление информации о результатах сданных экзаменов, тестирования и иных вступительных испытаний, а также о зачислении в образовательное учреждение;
- Предоставление информации об образовательных программах и учебных планах, рабочих программах учебных курсов, предметов, дисциплин (модулей), годовых календарных учебных графиках;
- Предоставление информации об организации общедоступного и бесплатного дошкольного, начального общего, основного общего, среднего (полного) общего образования, а также дополнительного образования в общеобразовательных

учреждениях, расположенных на территории субъекта Российской Федерации;

– Предоставление информации о порядке проведения государственной (итоговой) аттестации обучающихся, освоивших образовательные программы основного общего и среднего (полного) общего образования, в том числе в форме единого государственного экзамена, а также информации из баз данных субъектов Российской Федерации об участниках единого государственного экзамена и о результатах единого государственного экзамена.

На текущее время все образовательные организации Кузбасса перешли на использование АИС «Электронная школа 2.0». Данная АИС хранит в себе всю информацию о том, по каким образовательным программам обучающийся проходил обучение, в какой период времени и с каким успехом было завершено обучение. Все выше сказанное доказывает, что действующая информационная система может быть использована для формирования будущей профессиональной компетенции обучающегося в сфере дополнительного образования.

Далее будет описана значимость дополнительных образовательных программ в настоящее время.

Через освоение обучающимися дополнительных образовательных программ появляется возможность открытия новых перспектив в профессиональном образовании из-за того, что оно способствует решению следующих важных задач:

- расширению квалификационных возможностей обучающихся, прошедших весь курс дополнительной образовательной программы;
- обеспечение людей конкурентно способности и профессиональной мобильности;
- оптимизирование квалификационной структуры молодых специалистов для рынка труда.

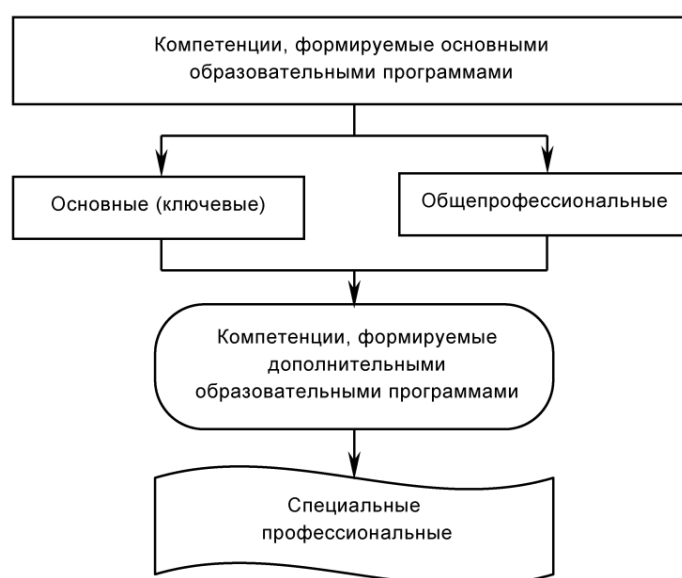


Рисунок 1 - Модель формирования компетенций выпускников учреждения дополнительного образования

Дополнительные образовательные программы могут разрабатываться исходя из инвариантной части основных образовательных программ и иметь междисциплинарный характер. В этом существуют большие возможности модернизации дополнительного образования различной направленности и глубины. Освоение программы значительно расширяет выбор возможных вариантов трудовой деятельности выпускника учреждения дополнительного образования.

Одновременно с этим есть возможность разрабатывать образовательные программы с направлением на углубленное изучение различных проблем в рамках группы компетенций. То есть иметь направление на развитие вариативности основных образовательных программ. Освоение таких программ углубляет профессиональные знания выпускников, расширяя их квалификационные возможности в рамках основной компетенции.

Дополнительное образование сегодня по своей значимости становится равносильным базовому основному образованию. Также существует возможность, что в ближайшее время дополнительное образование займет доминирующее положение, потому что оно взяло на себя ответственность за обновление и рост профессионального потенциала в обществе.

Библиографический список

1. Автоматизированные информационные системы в управлении организацией / В. В. Паневчик [и др.] // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: V Международная научно–техническая интернет–конференция, 18–19 ноября 2017г. Секция Информационные технологии в производстве и научных исследованиях [Электронный ресурс]. – [Б. и.], 2017.
2. Сайт АИС «Электронная школа 2.0» [электронный ресурс]. – URL: <https://www.wiki.ruobr.ru>
3. Мугуев Г. И. Моделирование целостного образовательного пространства // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 3
4. Томилин О. Б., Бритов А. В., Демкина С. И. Образовательные технологии формирования компетенций в системе высшего профессионального образования // Управление качеством высшего образования. – 2007. – № 4.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

Резниченко Д. В.

Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, Россия, desmos1992@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрен исторический обзор изучения процессов обработки информации в ЭВМ с архитектурой фон Неймана и создания понятия искусственного интеллекта. Перечислены основные исследования, которые ведутся в области искусственного интеллекта, а также кратко изложено использование интеллектуальных систем в современном мире.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальные системы, экспертные системы.

Abstract. The article considers a historical review of the study of information processing processes in computers with von Neumann architecture and the creation of the concept of artificial intelligence. The main research carried out in the field of artificial intelligence is listed, and the use of intelligent systems in the modern world is summarized.

Keywords: artificial intelligence, intelligent systems, expert systems.

До первой половины 80-х годов XX века развитие аппаратных средств ЭВМ и их программного обеспечения ограничивалось фон Неймановской архитектурой и методами обработки информации, которые были предложены Тьюрингом. Схема решения задач на ЭВМ оставалась практически неизменной. Пользователи, вследствие отсутствия у них соответствующих навыков по алгоритмизации и программированию, для автоматизированного решения задачи вынуждены были обращаться за помощью к специалистам в этой области, которые выступали посредниками между пользователями и ЭВМ. Несмотря на такое взаимодействие, довольно часто получался программный продукт, не соответствующий ожидаемым результатам. В программах задач проявлялись

ошибки наследования, получаемые в результате нечёткой постановки задачи пользователем, упрощений и ошибок, внесенных в процессе формализации задач и др. Приходилось проводить совершенствование существующей программы или даже проводить новую итерацию по ее разработке. Технология однократного процесса обработки информации в ЭВМ с архитектурой фон Неймана (т. е. когда программа, записанная на процедурном языке, жестко исполнялась центральными устройствами ЭВМ и повторные вычисления проводились на основе анализа предыдущих результатов вычислений) оставалась прежней.

По мере исследований в области технологии обработки информации было выявлено, что существующие ранее для ЭВМ с архитектурой фон Неймана программы не способны сами собирать информацию, они оперируют только с выполнимыми указаниями и предписаниями, определенными программистами при их разработке. Возникла потребность в создании ЭВМ новой архитектуры, способной проводить разумные рассуждения и действия, а также в определении методологии приобретения, предоставления и обработки знаний в ЭВМ с новой архитектурой. Эти вопросы нашли своё практическое воплощение в рамках исследований по искусственному интеллекту.

В конце 50-х - начале 60-х годов прошлого века в нескольких странах мира начались исследования в области искусственного интеллекта. На первом этапе эти исследования сводились к попыткам моделирования действий человеческого мозга и создания специальных программ манипулирования информацией в символьной форме. В Японии, США, Англии, Франции и СССР было объявлено о развёртывании работ по созданию интеллектуального интерфейса ЭВМ.

Искусственный интеллект представляет собой научно-техническую дисциплину, лежащую на стыке информатики, вычислительной техники, программирования, математической логики, лингвистики, теории управления, психологии, биологии. Предметом изучения этой дисциплины являются методы анализа и синтеза ЭВМ с интеллектуальными способностями, то есть такими, какие до последнего времени мог выполнять только человек.

Термин интеллект (*intelligence*) происходит от латинского *intellectus* – что означает ум, рассудок, разум; мыслительные способности человека. Соответственно, искусственный интеллект (*artificial intelligence*) – ИИ (AI) обычно трактуется как свойство автоматических систем брать на себя отдельные функции интеллекта человека, например, выбирать оптимальные решения на основе ранее полученного опыта и рационального анализа внешних воздействий.

Что касается задач с известными алгоритмами решения, то "излишне приписывать им такое мистическое свойства, как "интеллектуальность" (М. Минский). После того, как такой алгоритм найден, процесс решения соответствующих задач становится таким, что его могут выполнить человек, вычислительная машина (должным образом запрограммированная), не имеющие ни малейшего представления о сущности самой задачи. Требуется только, чтобы лицо, решающее задачу, было способно выполнять те элементарные операции, из которых складывается процесс, и, кроме того, чтобы оно педантично и аккуратно руководствовалось предложенным алгоритмом. Такое лицо, действуя чисто машинально, может успешно решать любую задачу рассматриваемого типа.

Поэтому представляется естественным исключить из класса интеллектуальных такие задачи, для которых существуют стандартные методы решения. Примерами таких задач могут служить типовые вычислительные задачи: решение системы линейных алгебраических уравнений, численное интегрирование дифференциальных уравнений. Для решения подобного рода задач имеются стандартные алгоритмы, представляющие собой определенную последовательность элементарных операций, которая может быть легко реализована в виде программы для вычислительной машины. В противоположность этому для широкого класса интеллектуальных задач, таких, как распознавание образов, игра в шахматы, доказательство теорем, напротив это формальное разбиение процесса поиска

решения на отдельные элементарные шаги часто оказывается весьма затруднительным, даже если само их решение несложно.

Выражение «искусственный интеллект» используется в разных смыслах: как техническая информационная модель естественного (человеческого) интеллекта и как научно-техническая дисциплина или научное направление, которое занимается проблемами имитации человеческого интеллекта. Искусственный интеллект в настоящее время представляет собой самостоятельную быстро развивающуюся научную дисциплину.

Интеллектуальные системы, создаваемые при проведении исследований в области ИИ, обладают рядом особенностей.

Во-первых, общения человека с этими системами не требует от него знания программирования, так как диалог с ним организуется на естественном языке (ЕЯ).

Во-вторых, программы решения конкретных задач формируются ИС автоматически на основе введения в их память знаний о закономерностях проблемных областей и способах решения возникающих в этой области задач с использованием методов логических рассуждений, ставших уже традиционными математических методов исследования операций, и методов, основанных на нечеткой логике и нечетких выводах.

В-третьих, ИС обеспечивают выдачу наиболее предпочтительных в данной ситуации, вариантов решения, сопровождают их объяснениями.

Основные направления развития и применения интеллектуальных систем:

1. Представление знаний и работа с ними. Это создание специализированных моделей и языков для представлений знаний в ЭВМ, а также программных и аппаратных средств, для их дальнейшего, пополнения, логической обработки. Ведутся исследования по созданию специальных логик, позволяющих пополнять и обобщать знания, хранимые в машине.

2. Планирование целесообразного поведения. Это исследования по созданию методов формирования целей и решения задач управления действиями автоматического устройства, функционирующего в сложной внешней среде.

3. Общение человека с ЭВМ. К этому направлению относятся задачи создания языковых средств, позволяющих эффективно взаимодействовать с ЭВМ непрограммирующему пользователю. Ведутся исследования в области 192 синтаксиса и семантики естественных языков, способов хранения знаний о языке в памяти машины и построения специальных процессоров, осуществляющие перевод текстовой информации во внутреннее машинное представление.

4. Распознавание образов и обучение. Это исследования по восприятию зрительной, слуховой и другой информации, методам ее обработки, формирования ответных реакций на воздействия внешней среды и способам адаптации искусственных систем к среде путем обучения.

В работах по искусственному интеллекту значительное место занимает термин "знание", подобно термину "данные" в области программирования. Данные и знания имеют ряд общих существенных свойств.

Характерными чертами интеллекта, проявляющимися в процессе решения задач, являются способность к обучению, обобщению, накоплению опыта (знаний и навыков) и адаптации к изменяющимся условиям в процессе решения задач. Благодаря этим качествам интеллекта мозг может решать разнообразные задачи, а также легко перестраиваться с решения одной задачи на другую. Таким образом, мозг, наделенный интеллектом, является универсальным средством решения широкого круга задач (в том числе неформализованных), для которых нет стандартных, заранее известных методов решения.

Существуют и другие, чисто поведенческие (функциональные) определения. Например, поведенческой трактовки интеллекта может служить определение А. Тьюринга. В разных комнатах находится люди и машина. Они не видят друг друга, но имеют возможность обмениваться информацией (например, с помощью электронной почты).

Если в процессе диалога между участниками игры людям не удастся установить, что один из участников – машина, то такую машину можно считать обладающей интеллектом.

Исторически сложились три основных направления в моделировании искусственного интеллекта.

В рамках первого подхода объектом исследований являются структура и механизмы работы мозга человека, а конечная цель заключается в раскрытии тайн мышления. Необходимыми этапами исследований в этом направлении являются построение моделей на основе психофизиологических данных, проведение экспериментов с ними, выдвижение новых гипотез относительно механизмов интеллектуальной деятельности, совершенствование моделей.

Второй подход в качестве объекта исследования рассматривает искусственный интеллект. Здесь речь идет о моделировании интеллектуальной деятельности с помощью вычислительных машин. Целью работ в этом направлении является создание алгоритмического и программного обеспечения вычислительных машин, позволяющего решать интеллектуальные задачи не хуже человека.

Наконец, третий подход ориентирован на создание смешанных человеко-машинных, или, как еще говорят, интерактивных интеллектуальных систем, на симбиоз возможностей естественного и искусственного интеллекта. 193 Важнейшими проблемами в этих исследованиях является оптимальное распределение функций между естественным и искусственным интеллектом и организация диалога между человеком и машиной.

Самыми первыми интеллектуальными задачами, которые решали при помощи ЭВМ были логические игры (шашки, шахматы), доказательство теорем. Американский кибернетик А. Самуэль составил для вычислительной машины программу, которая позволяет ей играть в шашки, причем в ходе игры машина обучается или, по крайней мере, создает впечатление, что обучается, улучшая свою игру на основе накопленного опыта. В 1962 г. эта программа сразилась с Р. Нили, сильнейшим шашистом в США и победила. В машину были программно заложены правила игры так, что выбор очередного хода был подчинен этим правилам. На каждой стадии игры машина выбирала очередной ход из множества возможных ходов согласно некоторому критерию качества игры. В шашках (как и в шахматах) обычно невыгодно терять свои фигуры, и выгодно брать фигуры противника. Игрок (человек или машина), который сохраняет подвижность своих фигур и право выбора ходов и в то же время держит под боем большое число полей на доске, обычно играет лучше своего противника, не придающего значения этим элементам игры. Описанные критерии хорошей игры сохраняют свою силу на протяжении всей игры, но есть и другие критерии, которые относятся к отдельным ее стадиям – дебюту, миттельшпилю, эндшпилю. Разумно сочетая такие критерии (например, в виде линейной комбинации с экспериментально подбираемыми коэффициентами или более сложным образом), можно для оценки очередного хода машины получить некоторый числовой показатель эффективности – оценочную функцию. Тогда машина, сравнив между собой показатели эффективности очередных ходов, выберет ход, соответствующий наибольшему показателю. Подобная автоматизация выбора очередного хода не обязательно обеспечивает оптимальный выбор, но это какой-то выбор, и на его основе машина может продолжать игру, совершенствуя свою стратегию (образ действия) в процессе обучения на прошлом опыте. Формально обучение состоит в подстройке параметров (коэффициентов) оценочной функции на основе анализа проведенных ходов и игр с учетом их исхода. По мнению автора проекта, машина, использующая этот вид обучения, может научиться играть лучше, чем средний игрок, за относительно короткий период времени.

В работах по искусственному интеллекту значительное место занимает термин "знание", подобно термину "данные" в области программирования. Данные и знания имеют ряд общих существенных свойств:

1. Внутренняя интерпретируемость. Данные, расположенные в памяти ЭВМ, невозможно интерпретировать без программ, для которых они предназначены. Последова-

тельность операций для выполнения программ может быть определена путём просмотра программ и данных, но семантику программы определить невозможно. В знаниях, в отличие от данных, всегда имеется возможность содержательной интерпретации. Например, пусть в памяти ЭВМ представлен массив, в строках которого представлены типы ЭВМ, а в столбцах – их характеристики. Если этот массив размещается в памяти ЭВМ без наименований строк и столбцов таблицы, то его содержательная интерпретация затруднена или даже невозможна. Если строки и столбцы массива определены, то появляется возможность формулировки ответов на любые вопросы, касающиеся типов и характеристик ЭВМ, представленных в массиве. В этом случае справедливо утверждение, что присутствует содержательная интерпретация.

2. Структурированность. Свойство структурированности можно проиллюстрировать на примере классификационных связей между понятиями, соответствующих элементам объектов предметной области: род-вид, элементкласс, класс-подкласс, тип-подтип и др. На основе этих связей могут быть образованы иерархии новых понятий. При этом отпадает необходимость многократного повторения понятий, описывающих различные элементы и связи объекта, имеющая место при представлении данных.

3. Связность. Это свойство вытекает из предыдущего. При работе с данными, например, характеризующими некоторое множество (пусть это будут типы ЭВМ) и элементы этого множества (конкретные типы ЭВМ), невозможно установить связь без многократного описания средствами процедурного языка типовой информации, характеризующей связность. Это объясняется тем, что применяемые к множеству в целом процедуры (описывающие типы ЭВМ), неприменимы для отдельных его элементов (описывающие конкретные типы ЭВМ). Таким образом, для данных связность между описанием множества и его элементами определяется специальными процедурами.

В целях реализации средств и методов ИИ и робототехники исследования ведутся в следующих основных направлениях:

1. разработка методов эффективного кодирования и использования трудно структурируемых знаний (т. е. знаний, определяемых как «здравый смысл»);

2. создание более устойчивых систем баз знаний и экспертных систем (ЭС), способных обосновывать и разъяснять принятые решения;

3. структурирование знаний таким образом, чтобы они могли быть эффективно использованы при необходимости в нескольких проблемных областях.

Одним из важнейших типов средств ИИ являются ЭС, обеспечивающие помощь человеку при анализе ситуаций и принятии решений.

Под экспертными системами будем понимать комплекс программных средств, обеспечивающих выдачу рекомендаций для решения трудно формализуемых задач в условиях дефицита времени, противоречивой и недостоверной информации, в том числе и в непредсказуемых ситуациях, на основе обобщенного коллективного опыта, хранящегося в памяти ЭВМ (базе знаний).

Огромный интерес к ЭС вызван рядом причин.

Во-первых, они ориентированы на решение широкого круга задач в неформализованных областях, что значительно расширяет возможности по применению вычислительной техники.

Во-вторых, с помощью ЭС специалисты, не знающие программирования, могут самостоятельно разрабатывать интересующие их приложения, что также позволяет расширить сферу использования вычислительной техники.

В-третьих, ЭС при решении практических задач достигают результатов, не уступающих, а иногда и превосходящих возможности людей-экспертов, не оснащенных ЭС.

Экспертные системы не отвергают и не заменяют традиционного подхода к программированию, они отличаются от традиционных программ тем, что ориентированы на решение неформализованных задач и обладают следующими особенностями, выделенными на основе анализа.

1. Алгоритм решений не известен заранее, а строится самой ЭС с помощью символических рассуждений, базирующихся на эвристических приемах.
2. Ясность полученных решений, т.е. система «осознает» в терминах пользователя, как она получила решение.
3. Способность анализа и объяснения своих действий и знаний.
4. Способность приобретения новых знаний от пользователя-эксперта, не обладающего профессиональными знаниями в области программирования, и изменения в соответствии с ними своего поведения.
5. Обеспечение «дружественного», как правило, естественно-языкового интерфейса с пользователем.
6. Ограничение определенной сферой экспертизы.
7. Способность рассуждать при сомнительных данных.
8. Экономическая выгода от ее использования.

В перспективе ожидается применение различных уровней систем знаний (СЗ), что позволит расширить многообразие задач поддержки принятия решений, принимаемых должностными лицами при планировании и организации работ. Главные отличия систем знаний от ЭС заключаются в следующем.

В ЭС база знаний формируется на основе сведений, получаемых от экспертов, то есть ведущих специалистов в конкретной области, на которую и рассчитана данная ЭС. Машина же вывода жестко ориентирована на определенную модель знаний, в наибольшей степени отражающую специфику данной прикладной области. В системах знаний базы знаний формируются по многим источникам самого разного свойства, в число которых могут входить литературные источники, экспертные оценки, уставы и наставления и т.д. При этом могут использоваться различные модели знаний, а машина вывода строится на многоаспектной основе сообразно используемым моделям знаний. Таким образом, система знаний является понятием более широким, чем экспертная система. Соответственно и возможности СЗ шире, чем в случае ЭС. Экспертные же системы, ввиду их более узкой специализации, предпочтительно будут использоваться на более низких уровнях иерархии организаций.

Нейропакеты (нейросетевые и нейрокомпьютерные технологии). В Японии добились значительных успехов в деле использования нейрокомпьютеров (НК) для распознавания образов. Создано устройство, которое можно считать первым действующим элементом НК.

Нейрокомпьютеры (их другое название нейросетевые системы) - это ЭВМ нового поколения, качественно отличные от всех предыдущих (в том числе от ЭВМ пятого поколения) тем, что в них отсутствуют заранее созданные алгоритмические программы и они, аналогично человеческому мозгу, способны обучаться на отдельных примерах.

Функционирование нейросетевых систем основано на принципе самообучения. В результате предъявления нейросетевому вычислителю (НСВ) входных параметров ряда обучаемых примеров и соответствующей корректировки выходных параметров в нейросетевой структуре устанавливаются определенные связи, которые обеспечивают получение решения при анализе реальных ситуаций. В настоящее время НСВ хорошо зарекомендовали себя при решении задач распознавания изображений, что особенно важно при обработке разведданных.

Робототехнические системы (РТС) представляют собой автоматизированные устройства, способные самостоятельно выполнять разнообразные производственные функции.

Роботы — это технические устройства, предназначенные для автоматизации человеческого труда. Само слово «робот» появилось в 20-х гг. XX в. Его автор - чешский писатель Карел Чапек.

В настоящее время в промышленности применяется огромное количество роботоманипуляторов, работающих по жесткой схеме управления. В отличие от них интеллек-

туальные роботы обладают способностью самообучаться и самоорганизовываться, адаптироваться к изменяющейся окружающей обстановке.

В военном деле РТС используют для выполнения задач разведки (в том числе радиационной, химической и биологической), инженерных задач, задач управления полетами и движением и др. В обозримой перспективе возможно практическое освоение боевых роботов, сочетающих функции разведки, поражения и управления и действующих в боевых порядках войск либо самостоятельно. Такие роботы должны обладать свойствами ориентирования на местности, опознавания "свой-чужой", выбора оптимальных целей для поражения и т.д.

Библиографический список

1. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
2. Романов П.С. Основы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 164 с.

СЕКЦИЯ 4

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИКИ

МЕТОДИКА И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ВЫБОРА И РАСЧЁТА СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Гулевич Т.М.¹, Брагин В.М.¹, Макаров Г.В.²

¹Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

²ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», Новокузнецк, Россия

Аннотация. Применение алгоритмов сглаживания зачастую сводилось к тому, чтобы посредством изобретательного приема превратить задачу сглаживания в задачу фильтрации, примером может служить фильтр Калмана, который обрабатывает последовательность измерений как в прямом, так и в обратном направлении, или же синтез цифрового фильтра на основе известной спектральной характеристики помехи. Эффективное использование таких методов возможно, когда известна вся выборка. Возможность решения задачи сглаживания средствами теории фильтрации позволяет распространить на алгоритмы сглаживания уже имеющийся аппарат анализа устойчивости алгоритмов оценивания, множество различных (в том числе эвристических) приемов решения нелинейных задач, задач с неполной информацией, арсенал адаптивных, робастных и других алгоритмов, где задача сглаживания решается в условиях непараметрической неопределенности.

Ключевые слова: фильтрация, сглаживание, традиционные фильтры, цифровые фильтры.

Abstract. The smoothing algorithms application has often been reduced to turning the smoothing problem into a filtering problem by an ingenious technique, an example being the Kalman filter, which processes a sequence of measurements in both the forward and backward directions, or the synthesis of a digital filter based on the known spectral characteristic of the disturbance. The effective use of such methods is possible when the whole sample is known. The possibility of solving the smoothing problem by means of filtering theory makes it possible to extend to smoothing algorithms the already available apparatus of analysis of stability of estimation algorithms, many different (including heuristic) methods of solving nonlinear problems, problems with incomplete information, arsenal of adaptive, robust and other algorithms, where the smoothing problem is solved in conditions of nonparametric uncertainty.

Keywords: filtering, smoothing, traditional filters, digital filters.

Применение алгоритмов сглаживания зачастую сводилось к тому, чтобы посредством изобретательного приема превратить задачу сглаживания в задачу фильтрации, примером чего может служить метод двухфильтрового сглаживания. Данный подход является одной из форм оптимального решения задачи сглаживания и использует фильтр Калмана, который обрабатывает последовательность измерений как в прямом, так и в обратном направлении. Эффективное использование этого метода возможно, когда известна вся выборка.

Возможность решения задачи сглаживания средствами теории фильтрации позволяет распространить на алгоритмы сглаживания уже имеющийся аппарат анализа устойчивости алгоритмов оценивания, множество различных (в том числе эвристических) приемов решения нелинейных задач, задач с неполной информацией, арсенал адаптивных, робастных и других алгоритмов.

Наряду с исследованиями, посвященными грубости алгоритмов сглаживания к неточностям параметров системы, все чаще встречаются работы, где задача сглаживания решается в условиях непараметрической неопределенности. Робастный подход, порожденный подобной постановкой, состоит в том, чтобы в условиях неопределенности, например, относительно спектра входного сигнала, заданного лишь своей принадлежностью некоторой области, синтезировать алгоритм сглаживания, отвечающий определенным условиям оптимальности.

Для выделения полезной составляющей сигнала к настоящему времени предложено большое число алгоритмов, которые можно разделить на две группы:

- традиционные, базирующиеся на традиционной теории оценивания, такие как алгоритм скользящего среднего и экспоненциального сглаживания первого – второго порядков;

- робастные (стабильные, помехозащищенные), это алгоритм оценивания медианы,

релейно-экспоненциальное сглаживание первого порядка и др.

Каждый из них имеет свои предпосылки, т. е. предполагает выполнение некоторого комплекса условий в отношении обрабатываемого сигнала [1-2].

Основу робастного (стабильного) сглаживания, обеспечивающего надежное выделение полезного сигнала из результатов измерений, содержащих помеху типа эпизодических грубых «выбросов», составляют алгоритмы оценивания медианы, релейно-экспоненциального сглаживания первого, второго и третьего порядков и, так называемые, адаптивные многоструктурные операторы.

Обработка реальных динамических сигналов и порождаемых ими рядов данных в системах идентификационно-тестовых измерений опирается на многовариантные структуры, включающие совместно с традиционными алгоритмами новые алгоритмы каскадно-медианного многовариантного и параллельного усреднения [3-5]. Такого рода разработки доведены до программно-алгоритмических модулей, составляющих единую основу на всех этапах первичного сглаживания, противоинерционного преобразования, выделения информативных участков и определения оценок параметров динамических сигналов измерительной информации.

При проектировании традиционных дискретных фильтров используются следующие методы:

- 1) метод билинейного z-преобразования из физически реализуемого аналогового фильтра-прототипа;
- 2) дискретизация импульсной характеристики аналогового прототипа;
- 3) расчёт по авторегрессионной модели сигнала, например, методы Юла-Уокера и Левинсона-Дарбина;
- 4) расчёт полиномиального сглаживателя (сплайн-сглаживателя) с приближением по методу наименьших квадратов;
- 5) расчёт по частотной характеристике с использованием прямого и обратного ДПФ (БПФ) с использованием окон, так называемое, оконное преобразование Фурье.

Частотному анализу поддаются цифровые фильтры с постоянной структурой. Частотный анализ основан на использовании z-преобразования расчётных формул фильтров во временной области. Чтобы получить комплексную частотную характеристику (КЧХ) из z-записи, нужно z^{-k} заменить на $e^{-k\omega}$. КЧХ представляет собой функцию комплексного аргумента, модуль которой равен АЧХ, а аргумент — ФЧХ [6]. В таблице показан перевод записи традиционных сглаживателей из временной в z-область.

Таблица – Записи традиционных сглаживающих фильтров во временной и частотной области

Вид фильтрации/ сглаживания	Уравнение во временной области	z-преобразование
Скользящее среднее	$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i-j]$	$Y(z) = X(z) \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} z^{-j}$
Экспоненциальное среднее первого порядка	$y[i] = \alpha x[i] + (1 - \alpha)y[i - 1]$	$Y(z) = \frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha)z} X(z)$
Экспоненциальное среднее k-го порядка	$y^{(k)}[i] = \alpha y^{(k-1)}[i] + (1 - \alpha)y^{(k)}[i - 1]$	$Y(z) = \left(\frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha)z} \right)^k X(z)$

На рисунке 1 показаны АЧХ и ФЧХ цифрового сглаживания на основе процедуры экспоненциального среднего первого порядка, рассчитанного для длины окна сглаживания в 5 отсчётов. Оба графика представлены для нормированной частоты, где 1 означает частоту Найквиста (половину частоты дискретизации). АЧХ показывает ослабление ам-

плитуд гармоник на всех частотах вплоть до частоты Найквиста при применении фильтра к обрабатываемому сигналу. ФЧХ показывает вносимый фильтром фазовый сдвиг для каждой частотной составляющей сигнала.

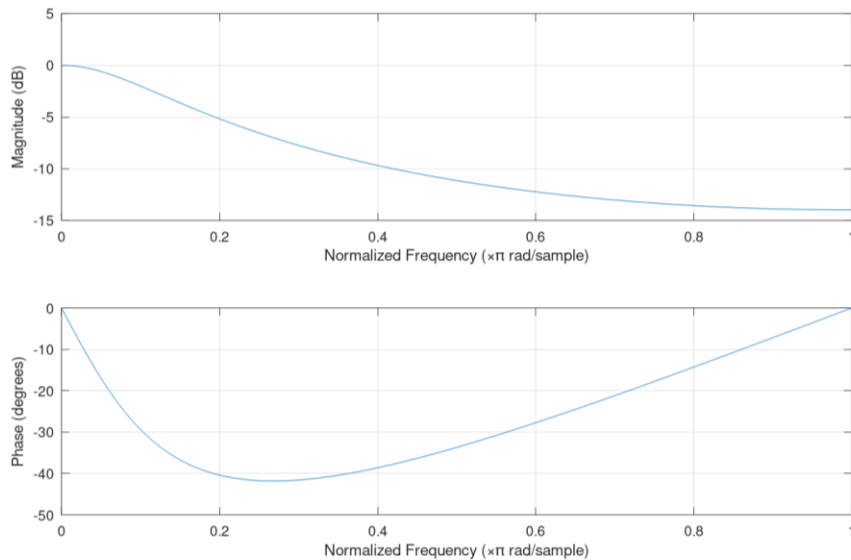


Рисунок 1 – АЧХ и ФЧХ экспоненциального среднего первого порядка

На рисунке 2 показаны ФЧХ традиционных сглаживателей, рассчитанных для базы сглаживания в 5 отсчётов.

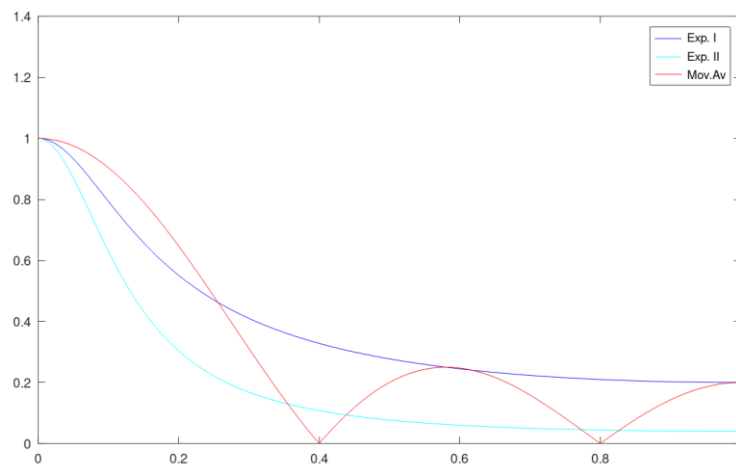


Рисунок 2 – АЧХ скользящего среднего и экспоненциального среднего первого и второго порядков

Если заранее есть возможность оценить частотные характеристики полезной составляющей и помехи сигнала, и они разделены в частотной области, то можно применить фильтр с заданной частотной характеристикой, в идеале прямоугольной формы, чтобы пропустить без искажения полезный сигнал и полностью подавить помеху. Один из очевидных способов это осуществить — сделать дискретное преобразование Фурье (ДПФ), или его оптимизированную версию (БПФ), полученную комплексную частотную характеристику умножить на прямоугольное окно, и сделать обратное преобразование Фурье. Однако на практике этот способ оказывается крайне малоэффективен из-за того, что мы имеем дело с ограниченными по времени отрывками сигнала (неполной информацией о всей протяжённости сигнала), а так как сигнал при использовании Фурье-анализа предполагается периодическим, то в результате при прямом и обратном преобразовании Фурье сильно искажается, «растекается».

Поэтому наибольшее распространение получили свёрточные процедуры фильтрации, которые не подвержены данному эффекту. Данный подход основан на свёртке сигнала с импульсной характеристикой фильтра (в том случае, если она ограничена), или с его рекурсивной формой (если она бесконечна). Стоит отметить, что цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры) не имеют аналоговых фильтров-прототипов, потому как таковые физически не реализуемы. При использовании свёрточных фильтров невозможно создать цифровой фильтр с реальной импульсной характеристикой во временной области, АЧХ которого имела бы идеальную прямоугольную форму в частотной области, можно только спроектировать по тем или иным критериям фильтр, который наиболее близко приближался бы к желаемому. Существуют разные способы расчёта таких реальных фильтров по заданной частотной характеристике, которые оптимальны по одним критериям, но имеют недостатки по другим. Наиболее часто используются фильтры Баттерворта, Чебышева первого и второго типа, Бесселя и фильтр с характеристикой эллиптического типа. Частотная характеристика фильтра Баттерворта, например, очень плавная, но имеет слабый спад на частоте среза. Фильтр Чебышева первого типа имеет очень крутую характеристику на частоте среза, но обладает тем недостатком, что на полосе пропускания его характеристика пульсирует (не плавная). Это же касается и фильтра Чебышева второго типа, но его характеристика пульсирует на полосе подавления. Эллиптический фильтр имеет максимально крутую частотную характеристику на частоте среза, но пульсирует и на полосе пропускания, и на полосе подавления.

Свёртка сигнала с оператором фильтра:

$$a_0 y[i] = b_0 x[i] + b_1 [i - 1] + \dots + b_m x[i - m] - a_1 y[i - 1] - a_2 y[i - 2] - \dots - a_n y[i - n] \quad (1)$$

Коэффициенты a_k и b_k образуют фильтр, который в z -области можно записать как

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} \quad (2)$$

При задании стандартной формы фильтра если коэффициент $a_0 \neq 1$, то вся дробь нормируется для $a_0 = 1$. Фильтры, для которых знаменатель функции передачи (2) не равен 1 (содержит как минимум одно составляющее z^{-k} , $k > 0$), такой фильтр является фильтром с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтром), иначе является фильтром с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтром). Функция передачи КИХ фильтра содержит только числитель, простейший пример — простое скользящее среднее. Для КИХ-фильтров характерно то, что их импульсная характеристика совпадает с их z -преобразованием при замене z^{-1} на задержку $x[k-1]$:

$$y_{impulse}[i] = b_0 + b_1 x[i - 1] + \dots + b_m x[i - m] \quad (3)$$

Таким образом, фильтрация КИХ-фильтром сводится к свёртке обрабатываемого сигнала с его импульсной характеристикой.

На рисунке 3 показаны АЧХ фильтров Баттерворта, Чебышева первого типа и эллиптического, рассчитанных для частоты среза 0,1 от частоты Найквиста [6]. Порядок всех фильтров 3.

Во многих случаях не представляется возможным точно заранее оценить частотные характеристики помехи и полезного сигнала. Если есть основания считать, что, по крайней мере, в измеренном сигнале нет грубых выбросов, не свойственных основной присутствующей в измеренном сигнале помехи (шума), то можно применить сглаживатели на основе полиномиальной аппроксимации (на основе сплайнов). Параметры сплайн-аппроксимации рассчитываются методом наименьших квадратов (МНК) для заданного порядка порядка сплайна. Примером такого фильтра является фильтр Савицкого-Голея.

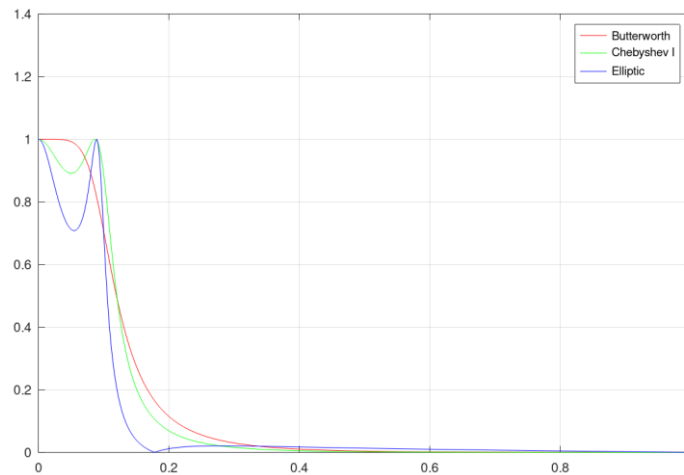


Рисунок 3 – АЧХ цифровых фильтров, полученных из аналоговых прототипов фильтров Баттерворта, Чебышева типа I и эллиптического фильтра

При реализации дискретных фильтров в среде KNIME [7] использованы вставки скриптов на языке Python 3, при этом задействованы библиотеки pandas, numpy и scipy. Библиотека scipy содержит готовые функции для реализации дискретных фильтров в нотации, принятой в математическом пакете Matlab [8]. Данная программа интегрируется в комплекс [9], позволяющий проводить как лабораторные, так и практические занятия с обучающимися не только в традиционной форме, но и с применением дистанционных технологий [10].

Граф обработки разделён на компоненты (модули) для упрощения графического программирования расчётной схемы и управления блоками. Основной граф обработки представлен на рисунке 4. На рисунке часть схемы вынесена в компоненты: Frequency Response — частотная характеристика, Filters Suite — набор фильтров.

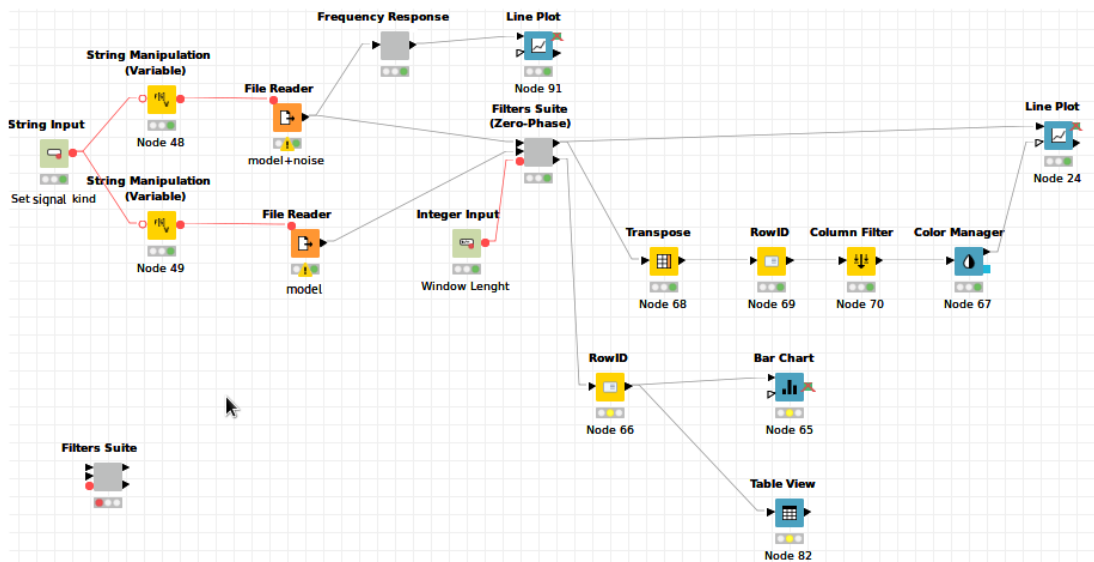


Рисунок 4 – Основной граф обработки сигналов в среде KNIME

Для синтеза фильтра в частотной области примем тот факт, что достаточно плавной характеристики фильтра на частоте среза, то есть будем использовать фильтр Баттерворта, для расчёта его параметров оценим полезную составляющую на частотном спектре обрабатываемого сигнала. Как видно на рисунке 5, когда в качестве модельного сигнала использована синусоида, в спектре просматривается пик на частоте модельной синусоиды, а полезная составляющая сосредоточена в области частот до 0,1. Для устранения высокочастотной помехи применим фильтр низких частот Баттерворта с частотой среза 0,1.

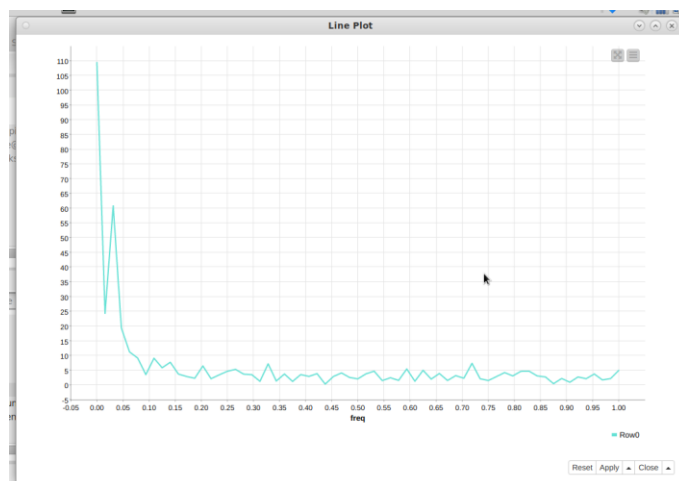


Рисунок 5 – Спектр загруженного сигнала на основе синуса, freq — нормированная частота

Фильтры, кроме медианной средней, многовариантного и Савицкого-Голея вносят сглаженную кривую существенный фазовый сдвиг, который необходимо устранить перед оценкой эффективности фильтров.

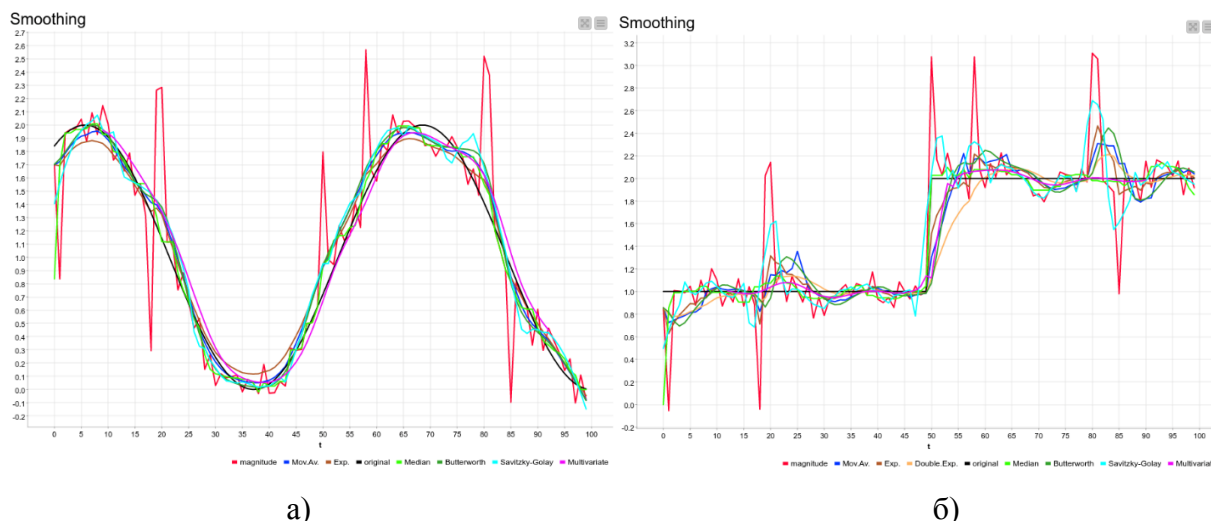


Рисунок 6 – Графики сглаживания сигналов, полученных на основе а) синусоиды, б) step-функции с устранением фазового сдвига

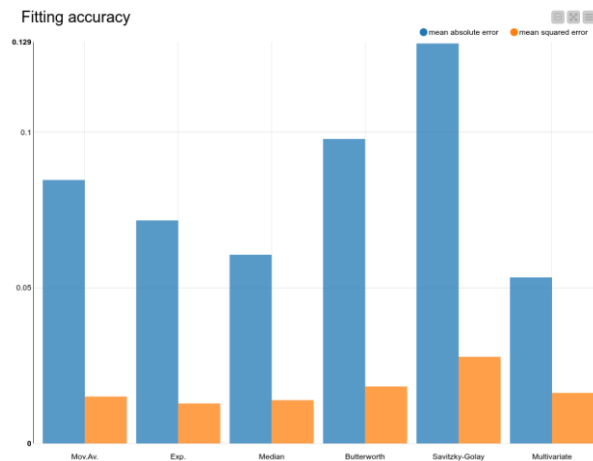
На рисунке 6 приняты следующие обозначения:

«original» — модельный сигнал, «magnitude» — обрабатываемый сигнал, фильтры: «Mov.Av.» - скользящее среднее, «Exp» — экспоненциальное среднее, «Double.Exp.» - двойное экспоненциальное среднее (второго порядка), «Median» — медианное среднее, «Butterworth» — фильтр Баттерворта, «Savitzky-Golay» — фильтр Савитского-Голея, «Multivariate» — многовариантный фильтр.

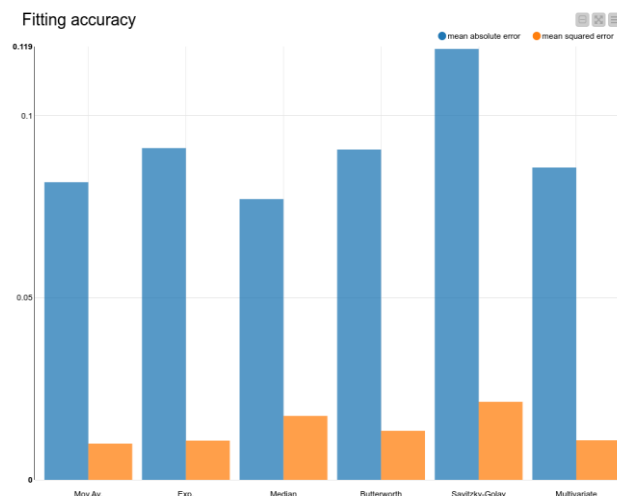
На рисунке 7 представлены результаты сравнения следующих подстроенных фильтров:

- 1 – скользящее среднее;
- 2 – экспоненциальный;
- 3 – медианный;
- 4 – фильтр Баттерворта;
- 5 – фильтр Савицкого-Голея;
- 6 – многовариантного.

Графическое представление результатов точностного анализа.



а)



б)

Рисунок 7 – Среднемодульное и среднеквадратичное отклонение сглаженных кривых от кривой модельного сигнала на основе а) синусоиды, б) step-функции

На рисунке 37 приняты следующие обозначения:

«mean absolute error» — среднемодульная ошибка приближения, «mean squared error» — среднеквадратичная ошибка приближения; фильтры: «Mov.Av.» - скользящее среднее, «Exp» — экспоненциальное среднее, «Double.Exp.» - двойное экспоненциальное среднее (второго порядка), «Median» — медианное среднее, «Butterworth» — фильтр Баттерворта, «Savitzky-Golay» — фильтр Савитского-Голея, «Multivariate» — многовариантный фильтр.

К настоящему времени предложено большое число алгоритмов, среди которых можно отметить традиционные простые сглаживатели, базирующиеся на традиционной теории оценивания, робастные, многовариантный фильтр и свёрточные цифровые КИХ и БИХ фильтры. Каждый из них имеет свои предпосылки, т. е. предполагает выполнение некоторого комплекса условий в отношении обрабатываемого сигнала. Традиционные алгоритмы обеспечивают точное выделение полезного сигнала из результатов измерений, робастные – обеспечивают надежное выделение полезного сигнала содержащих помеху типа грубых выбросов. Проектирование свёрточных фильтров во временной и частотной областях позволяет получить более точную их реализацию с заранее установленными свойствами и более глубокое выделение полезного сигнала, но требует при этом больше предварительных знаний и точности оценок о помеховой и полезной составляющих сигнала. Имеется значительная база готовых программных пакетов, библиотек, расчётных модулей для применения рассмотренных цифровых фильтров в различных системах об-

работки сигналов, начиная от лабораторных обучающих стендов до промышленных систем управления технологическими процессами и распределённых систем обработки информации, аналитики и принятия решений.

Библиографический список

1. Гильбо Е. П., Челпанов И. Б. Обработка сигналов на основе упорядоченного выбора. М.: Сов. радио, 1976, 344с.
2. Данильянц Л. Г., Ершов А. А., Авдеев В. П. и др. — Изв. вуз. Черная металлургия, 1978, № 6, с.153 – 158.
3. Авдеев В.П., Кустов Б.А., Мышляев Л.П. Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой. – Новокузнецк: Кузбасский филиал Инж.Академии. 1992. 188с.
4. Даниелян Т.М., Авдеев В.П., Шафир А.М. Обработка информативных участков данных, – Известия ВУЗов, Черная металлургия, 1979, №10, с. 105-110.
5. Даниелян Т.М., Авдеев В.П., Парпаров Я.Г, Первичная обработка информации с помощью ЭВМ //Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1981,– № 7,- с. 14-19.
6. Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мейкин Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика. - МИР, Москва, 1989 г. - 216 с.
7. KNIME. Software documentation [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.knime.com/> (дата обращения: 15.06.2021).
8. MathWorks MATLAB documentation. Signal Processing Toolbox [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mathworks.com/help/signal/index.html> (дата обращения: 15.06.2021).
9. Гулевич Т.М. Автоматизированный распределенный лабораторно-практический комплекс по информационно-измерительным технологиям / Гулевич Т.М., Морозов П.А., Макаров Г.В., Федотов А.А. // В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией В.Ю. Островляничика. 2014. С. 140-149.
10. Гулевич Т.М. Автоматизированный лабораторный практикум на базе web-технологий / Гулевич Т.М., Морозов П.А., Макаров Г.В., Чабан М.С. // В сборнике: Информатизация инженерного образования ИНФОРИНО-2014. Труды международной научно-методической конференции. 2014. С. 345-348.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ТЕСТОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Гулевич Т.М., Исаев Э.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, eduard-isaev-2000@mail.ru

Аннотация. Основным предметом исследования в данной работе являются метрологический точностной анализ традиционных и тестовых методов измерения. Цель работы: развитие инженерной методики предельного метрологического анализа тестовых методов. В результате исследования были получены аналитические выражения для предельных значений результирующей погрешности измерения и произведено сравнение полученных результатов.

Ключевые слова: образная имитация, методы измерений, моделирование, метрологический анализ, погрешности измерения.

Abstract. The main research subject of this work is metrological precision analysis and test measurement methods. Purpose of the work: development of an engineering technique for limiting metrological analysis of test methods. As a result, analytical expressions for the limiting values of the result-

ing measurement error were obtained and a comparison of the results obtained was made.

Keywords: *figurative imitation, measurement methods, modeling, metrological analysis, measurement errors.*

В основе традиционного метрологического анализа представления и обработки результатов измерений лежит так называемый теоретико-вероятностный (статистический подход), который имеет ряд жёстких предпосылок относительно представления погрешности измерения в виде случайных величин, как правило, нормального распределения, адекватность которых часто трудно и вообще невозможно проверить на практике.

В работе [1] приведен анализ и оценка погрешности тестовых методов повышения точности измерения, позволяющих рассматривать вопросы синтеза измерительных систем, использующих тестовые алгоритмы, выбора оптимальных параметров тестов, а также расчеты метрологических характеристик при условии задания доверительной вероятности, закона распределения погрешностей либо его статистических параметров (математического ожидания и дисперсии).

Нестационарность, нелинейность, распределенность свойств объектов измерения, нестабильность метрологических характеристик средств измерений в действующих автоматизированных системах контроля и регулирования, связанная с влиянием различных воздействий, неизбежных в условиях промышленного производства, приводит к недостоверным результатам и большим погрешностям измерения [2].

Использование традиционных периодических поверок и испытаний автоматизированных систем технологических измерений, невысокий уровень автоматизации и механизации этих работ не обеспечивают требуемую точность измерения, оперативность и единообразие в проведении метрологической аттестации систем, регистрации и обработки результатов.

Современное метрологическое обеспечение автоматизированных систем технологических измерений опирается, в основном, на статические, либо квазистатические модели метрологического процесса, что сдерживает прогресс в этой важной области. Назрела необходимость, и имеются методические основы для реального перехода от традиционного (статического) к комплексному динамическому метрологическому обеспечению систем автоматизации технологических агрегатов.

Для решения поставленных задач получения требуемого количества и качества измерительной информации предлагается новый класс многовариантных идентификационно-тестовых систем измерений со встроенными метрологическими блоками, позволяющими повысить достоверность и точность измерений технологических параметров при использовании в производственных системах низкоточного и нестабильного измерительного оборудования, а также повысить гибкость и расширить функциональные возможности систем технологических измерений в черной металлургии и других областях промышленности.

Суть тестовых методов повышения точности результата измерения заключается в использовании пробных воздействий (аддитивных и мультипликативных тестов) непосредственно в процессе измерения постоянных или переменных физических величин [3]. Эти методы благодаря своим особенностям позволяют получить в цикле измерения либо результат измерения (оценку измеряемой величины), либо оценки реальной градуировочной характеристики.

Достоинством традиционных тестовых методов является независимость результата измерения от текущих значений параметров градуировочной характеристики, что даёт возможность практически исключить низкочастотную составляющую погрешности измерения. К недостаткам этих методов можно отнести ограниченную возможность использования мультипликативных тестов из-за сложности их реализации, особенно, в системах технологических измерений.

При решении реальных измерительных задач часто приходится сталкиваться с условиями неопределенности не только статистической природы, но и другой неопреде-

ленности, при которой задаются лишь пределы, в которых условиями риска могут изменяться либо сами погрешности, либо их характеристики. Эти предположения (предпосылки) являются более реалистичными и поэтому в настоящей работе рассматривается задача сопоставительного анализа традиционного метода измерения, основанная не только на классическом подходе, но и на оптимизации гарантированных критериев точности и надежности получаемых результатов измерения и обработки [4].

В ряде случаев этот подход позволяет получить значительно более близкие к практике результаты, чем классический вероятностный подход, базирующийся на необоснованных предпосылках [5].

В такой постановке задача точностного анализа моделей измерительной системы в рамках теории тестовых методов не рассматривалась, поэтому представляет методический и практический интерес в деле совершенствования метрологического обеспечения, особенно систем технологических измерений.

Целью сопоставительного анализа погрешностей бестестового и тестовых методов измерений на примерах упрощенных модельных схем измерительных систем является развитие инженерной методики предельного метрологического анализа предлагаемых новых тестовых методов измерения и конкретизация ее для разработки учебно-исследовательских автоматизированных измерительных комплексов и совершенствование производственных систем технологических измерений.

Для достижения поставленной цели получены аналитические выражения для предельных значений результирующей погрешности измерения как для традиционного способа измерения, так и для исследуемого тестового метода измерения и произведено сравнение полученных результатов.

При тех же исходных условиях (предпосылках и ограничениях) поставлена и решена обратная метрологическая задача, заключающаяся в определении допустимых значений величины теста, погрешности его реализации и допустимых значений других факторов, удовлетворяющих заданной точности измерения.

Математическая постановка исследуемой задачи может быть представлена следующим образом.

Традиционный метод измерения:

Дано: 1) Модель системы измерения (СИ)

$$Y = aX^2,$$

где X – const в цикле измерения, $X \in X_{\min} \div X_{\max}$;

Y – измеренное значение (действительное);

a – градуировочный коэффициент.

2) Алгоритм измерения (метод непосредственной оценки):

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{Y}{\hat{a}}}; \quad X = \sqrt{\frac{Y}{a}}, \quad (1)$$

где \bar{X} , X – соответственно оценка и действительное значение величины,

$$\hat{a} = a + |\delta a|, \quad |\delta a| \leq \delta a^*,$$

где δa – ошибка оценки коэффициента;

δa^* – предельное значение ошибки.

Требуется:

Определить предельно допустимую (гарантированную) оценку погрешности измерения ΔX^* .

Решение:

Погрешность измерения $\Delta X = \bar{X} - X$, с учетом выражений (1), имеет вид

$$\Delta X = \sqrt{\frac{Y}{a+\delta a}} - \sqrt{\frac{Y}{a}} \quad (2)$$

Оценка измерения \bar{X} находится с погрешностью (2) из выражения

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{Y}{\hat{a}}} = F^{-1}(\hat{a}), \quad \hat{a} = a + |\delta a|, \quad (3)$$

$$\delta a^{\min} < \delta a < \delta a^{\max}, \quad a + \delta a^{\min} = \hat{a}^{\min} < \hat{a} < \hat{a}^{\max} = a + \delta a^{\max}.$$

Для того, чтобы оценить погрешность получаемого результата измерения ΔX , разложим функцию $F^{-1}(\hat{a})$ в ряд Тейлора в окрестности точки действительного значения коэффициента a , то есть:

$$\bar{X} = F^{-1}(\hat{a}) = F^{-1}(a) + R_1(\hat{a}) = X + \Delta X, \quad (4)$$

Остаточный член разложения $R_1(\hat{a})$ оценивается как:

$$|R_1(\hat{a})| \leq \frac{|\hat{a}-a|}{1!} \sup_{\xi} |F^{-1}(\xi)|, \quad F^{-1}(a) = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{Y}{a^3}}.$$

$$\hat{a}^{\min} < \xi < \hat{a}^{\max}$$

Действительное значение $F^{-1}(\hat{a})$ определено для двух вариантов:

$$a > 0, Y > 0 \quad \text{или} \quad \hat{a} < 0, Y < 0.$$

Ограничимся первым вариантом, при этом функция:

$$|F^{-1}(\hat{a})| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Y}{\hat{a}^3}}$$

Моноotonно убывает на интервале $\hat{a} \in [0; \infty]$, так как ее производная отрицательна, следовательно

$$\sup |F^{-1}(\xi)| = |F^{-1}(\hat{a}^{\min})| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Y}{(\hat{a}^{\min})^3}},$$

$$\hat{a}^{\min} < \xi < \hat{a}^{\max}$$

Подставив в это $y = \hat{a}^{\min} X^2$, получим:

$$\sup |F^{-1}(\xi)| = \frac{X}{2\hat{a}^{\min}}.$$

$$\hat{a}^{\min} < \xi < \hat{a}^{\max}$$

Таким образом модуль погрешности измерения определяется как

$$|\Delta X| = |R_1(\hat{a})| \leq |\hat{a} - a| \cdot \frac{X}{2\hat{a}^{\min}} = |\delta a| \cdot \frac{X}{2\hat{a}^{\min}}.$$

Очевидно, что оценка величины $|\Delta X|$ будет изменяться при изменении δa и X , но максимальная погрешность не будет превосходить величины $|\Delta X|^{\max} > 0$, равной:

$$|\Delta X| \leq |\Delta X|^{\max} = \frac{X^{\max}}{2\hat{a}^{\min}} [\max\{|\delta a|^{\min}, |\delta a|^{\max}\}].$$

Окончательное выражение предельно допустимой (гарантированной) оценки погрешности измерения будет иметь вид:

$$|\Delta X|^{\max} = \frac{X^{\max}}{2\hat{a}^{\min}} |\delta a|^{\max}. \quad (5)$$

Тестовый метод измерения.

Дано:

Модель измерения: Ограничения:

$$\begin{cases} Y_0 = aX^2, & X \in [X^{\min}, X^{\max}], & \delta x \in [\delta x^{\min}, \delta x^{\max}], \\ Y_1 = a[(X + \delta x) - \theta_x]^2; & \theta_x \in [\theta_x^{\min}, \theta_x^{\max}], & E_\theta \in [E_\theta^{\min}, E_\theta^{\max}], \\ Y_2 = (\theta_x + E_\theta) & \delta x^{\max} < \theta_x^{\min}. \end{cases} \quad (6)$$

Погрешность измерения: Алгоритм измерения:

$$\Delta X = \sqrt{\frac{Y}{\hat{a}}} - \sqrt{\frac{Y}{a}}, \quad \hat{X} = \frac{Y_2}{1 - \sqrt{\frac{Y_1}{Y_0}}} \quad (7)$$

Требуется: определить $|\Delta X|^{\max}$ при различных вариантах ограничений (6).

Решение:

Аналитические выражения погрешности ΔX при конкретных условиях приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Погрешности тестового метода измерения

X	δx	E_θ	X	ΔX	$ \Delta X ^{\max}$
const	0	0	$\frac{Y_2}{1 - \sqrt{\frac{Y_1}{Y_0}}}$	0	0
const	0	const	$\frac{Y_2 - E_\theta}{1 - \sqrt{\frac{Y_1}{Y_0}}}$	$\frac{1}{1 - \sqrt{\frac{Y_1}{Y_0}}}$	$\frac{X^{\max}}{\theta_x^{\min}} \cdot E_\theta ^{\max}$
var	const	const	$\frac{Y_2 - E_\theta - \delta x}{1 - \sqrt{\frac{Y_1}{Y_0}}}$	$\frac{E_\theta + \delta x}{1 - \sqrt{\frac{Y_1}{Y_0}}}$	$\frac{(E_\theta^{\max} + \delta x^{\max}) X^{\max}}{\theta_x^{\min} - \delta x^{\max}}$

Обратная задача:

Требуется: определить E_θ^{\max} и δx^{\max} , при условии $|\Delta X|^{\max} \leq |\Delta X^*|$, где ΔX^* - заданная (требуемая) погрешность измерения.

Предельно допустимые (гарантированные) значения вариаций δx и E_θ могут быть определены из оптимизационного выражения:

$$E_{\theta \text{ пред. доп.}}^{\max} X^{\max} + \delta x_{\text{пред. доп.}}^{\max} (X^{\max} + |\Delta X^*|) \leq |\Delta X^*| \cdot \theta_x^{\min}, \quad (8)$$

с помощью процедур нелинейного программирования, либо поисковых процедур, в том числе с помощью простого перебора вариантов, влияющих факторов.

Результаты точностного анализа различных методов измерения получены при натурно-модельных исследованиях в составе учебно-испытательного комплекса (УИК «Метролог»), предназначенного для активного обучения методам и средствам измерения и выполнения НИР в области промышленной метрологии. УИК представляет собой действующую модель системы порционного дозирования с тестовым нагружением и прямым цифровым управлением от персональной ЭВМ. Комплекс использовался для исследования эффективности, демонстрации, сравнительного анализа и обучения студентов и работников отдела метрологии идентификационно-тестовым, традиционным и нетрадиционным тестовым методам измерения массы в системах порционного дозирования.

Для вариантов традиционного и тестового методов измерения получены зависимости для предельно допустимой погрешности измерения, которые приведены, соответ-

ственно, на рисунке 1.

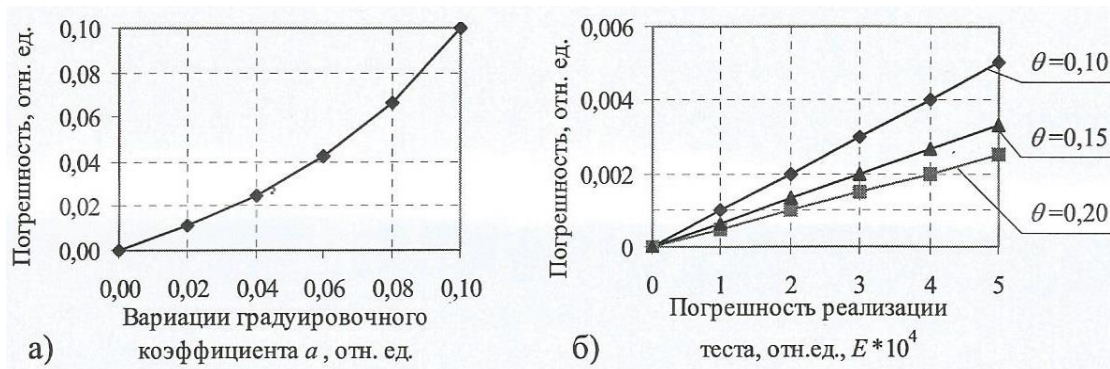


Рисунок 1 – Предельно допустимая погрешность измерения:

а – традиционный метод, б – тестовый метод

Кроме того, с помощью учебно-исследовательского комплекса получены результаты исследований эффективности процедур аппроксимации и восстановления явных и неявных ГХ системы измерения массы в режиме “online” в составе автоматизированной лабораторной установки порционного дозирования со встроенными метрологическими блоками и оперативным управлением процессами дозирования и тестирования.

Во время эксперимента было произведено 5 циклов дозирования. На каждом цикле прибавлялось 100г к исходной массе. Величина теста при тестовом методе составляла 50г. Многократные замеры массы производились на АЛУ «ДОЗА» и электронных весах, в связи с тем, что показания приборов были представлены в динамичной форме.

В таблице 2 представлены зарегистрированные значения при нулевом методе и методе непосредственной оценки.

Таблица 2 – Зарегистрированные значения при нулевом методе и методе непосредственной оценки

№ замера	№ цикла дозирования	Объект измерения	Метод непосредственной оценки			Нулевой метод	
			ДОЗА	ВЛ Э144		Рычажные весы	
			без тары	с тарой	без тары	с тарой	без тары
1		Тара		353,476		353,400	
2	1	1 доз-ие	100,080	457,058	103,658	456,980	103,580
3	2	2 доз-ие	100,380	559,770	206,370	559,700	206,300
4	3	3 доз-ие	98,480	662,850	309,450	662,750	309,350
5	4	4 доз-ие	100,940	767,663	414,263	767,600	414,200
6	5	5 доз-ие	98,460	871,815	518,415	871,700	518,300

В таблице 3 представлены зарегистрированные значения при тестовом методе.

Таблица 3 – Зарегистрированные значения при тестовом методе

№ замера	№ цикла дозирования	Объект измерения	Тестовый метод (ДОЗА)			Тестовый метод (ВЛ Э144)		
			Y0	Y1	X	Y0	Y1	X
			без тары			с тарой		
1		Тара				353,476	403,485	353,412
2	1	1 доз-ие	100,080	149,880	100,482	457,058	507,058	457,058
3	2	2 доз-ие	100,380	150,380	100,380	559,770	609,754	559,949
4	3	3 доз-ие	98,480	148,480	98,480	662,850	712,833	663,082
5	4	4 доз-ие	100,940	150,940	100,940	767,663	817,635	768,085
6	5	5 доз-ие	98,460	148,460	98,460	871,815	921,813	871,859

Таким образом, нулевой метод на рычажных весах при образцовых мерах даёт более точный результат измерения. При определении результата измерения за действительное значение измеренной величины принимается измеренное значение, полученное на рычажных весах.

Автоматизированная лабораторная установка «ДОЗА» предназначена для исследования эффективности идентификационно-тестового подхода к измерениям; сравнительного анализа существующих методов измерения, обучения студентов и технологов новым методам и для их демонстрации.

Установка представляет собой действующую модель системы порционного дозирования сыпучих материалов с тестовым нагружением и прямым цифровым управлением от персональной ЭВМ.

Замеры производились в циклической форме. Перед началом циклических замеров производился замер тары на рычажных весах нулевым методом и на электронных весах многократным методом непосредственной оценки. Цикл каждого замера выглядит следующим образом:

- Дозирование неоднородной массы на АЛУ «ДОЗА». Регистрация значения.
- Определение результата измерения тестовым методом.
- Взвешивание полученной массы на электронных весах. Регистрация значения.
- Определение результата измерения тестовым методом.
- Взвешивание массы на рычажных весах нулевым методом. Регистрация значения.

В таблице 4 представлены погрешности результата измерения при методе непосредственной оценки.

Таблица 4 – Погрешности результата измерения при методе непосредственной оценки

№ за- мера	№ цикла дозирования	Объект измерения	Метод непосредственной оценки					
			ДОЗА		ВЛ Э144			
			без тары		с тарой		без тары	
			Абс-ая	Отн-ая	Абс-ая	Отн-ая	Абс-ая	Отн-ая
1		Тара			0,076	0,022		
2	1	1 доз-ие	-3,500	-3,379	0,077	0,017	0,077	0,075
3	2	2 доз-ие	-2,340	-2,278	0,070	0,013	0,070	0,034
4	3	3 доз-ие	-4,570	-4,435	0,100	0,015	0,100	0,032
5	4	4 доз-ие	-3,910	-3,729	0,062	0,008	0,062	0,015
6	5	5 доз-ие	-5,640	-5,418	0,115	0,013	0,115	0,022

В таблице 5 представлены погрешности результата измерения при тестовом методе.

Таблица 5 – Погрешности результата измерения при тестовом методе

№ за- мера	№ цикла дозирования	Объект измерения	Тестовый метод					
			ДОЗА		ВЛ Э144			
			без тары		с тарой		без тары	
			Абс-ая	Отн-ая	Абс-ая	Отн-ая	Абс-ая	Отн-ая
1		Тара			0,012	0,000		
2	1	1 доз-ие	-3,098	-2,991	0,077	0,000	0,077	0,001
3	2	2 доз-ие	-2,340	-2,278	0,249	0,000	0,249	0,001
4	3	3 доз-ие	-4,570	-4,435	0,332	0,001	0,332	0,001
5	4	4 доз-ие	-3,910	-3,729	0,485	0,001	0,485	0,001
6	5	5 доз-ие	-5,640	-5,418	0,159	0,000	0,159	0,000

Анализ результатов погрешностей измерения показал, что наиболее точным методом на ряду с нулевым является тестовый метод. Одним из его преимуществ является то,

что на результат измерения градуировочная характеристика средства измерения не влияет. Но при этом необходимо иметь максимально точные для каждого случая образцовые меры. Эти погрешности хорошо согласуются с результатами, полученными при натурно-модельных исследованиях в составе учебно-испытательного комплекса и полупромышленного эксперимента.

Для вариантов ГХ (рисунок 2) приведены результаты исследования идентификационно-тестового метода измерения (рисунок 3).

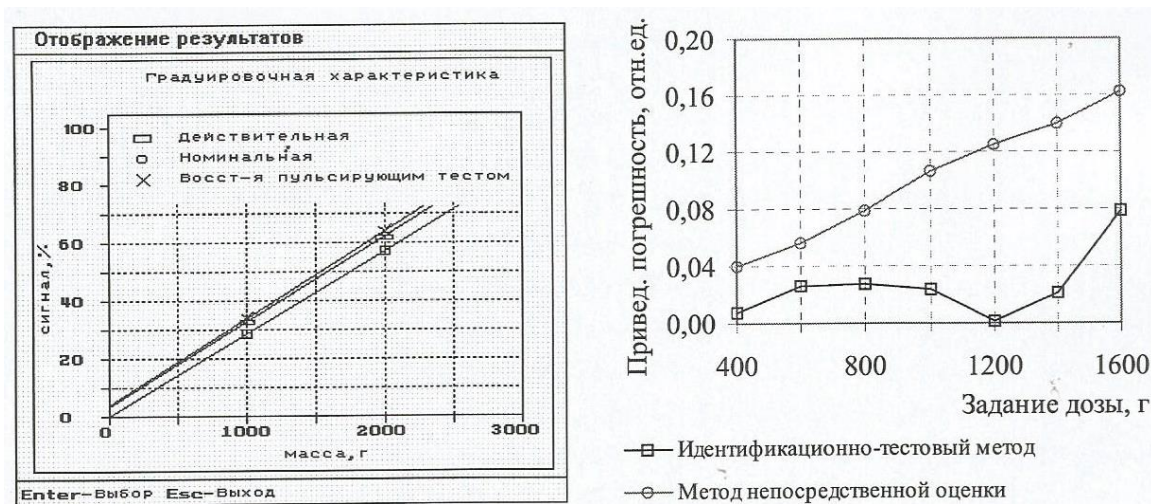


Рисунок 2 – Панель программы с вариантами ГХ и погрешности измерения при различных заданиях дозы

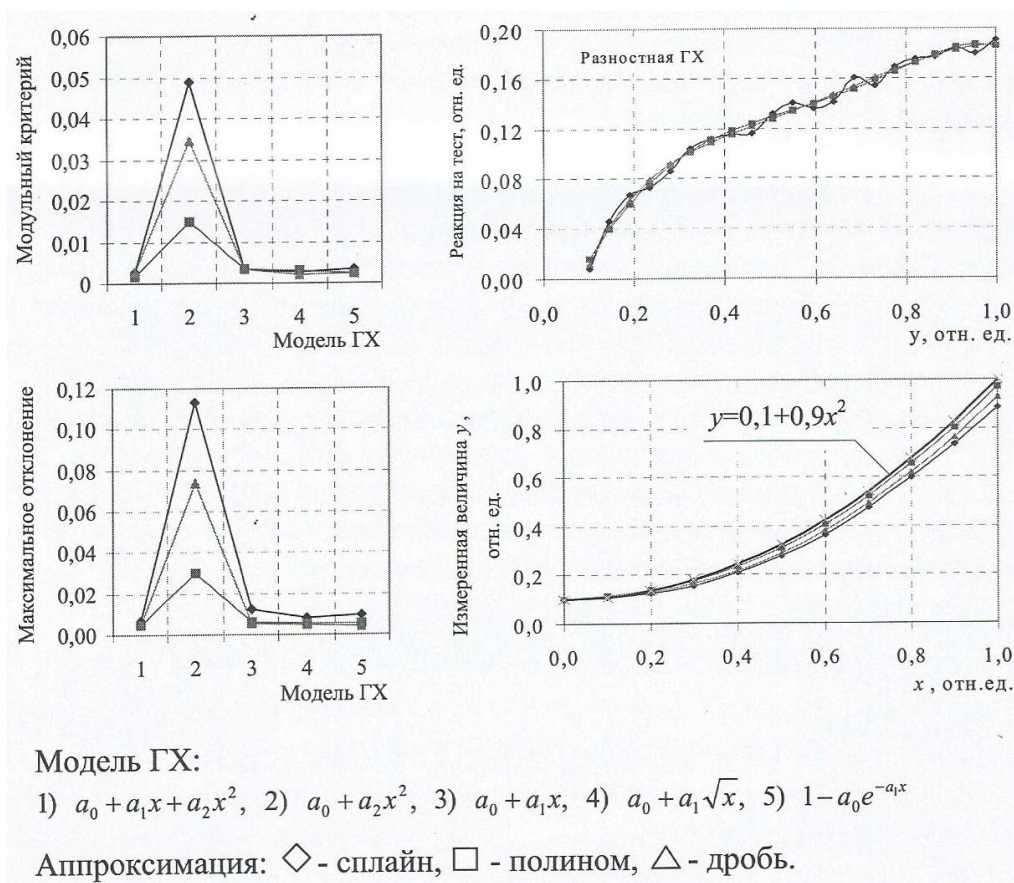


Рисунок 3 – Результаты исследований восстановления ГХ

Библиографический список

1. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978 – 176 с., ил.;
2. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н., Тищенко О.Ф, Скороходов А.И. Основные термины в области метрологии: Словарь-справочник. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 113 с.;
3. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Алгоритмические методы повышения точности информационно-измерительных систем. // Измерения, контроль, автоматизация, 1978, №4 (16), с. 38-45;
4. Эльязберг П.Е. Измерительная информация: сколько ее нужно? Как ее обрабатывать? – М.: «Наука», 1983;
5. Алимов Ю.И. О практической ценности теории оценок. // Автоматика, 1981, №2. С. 84-94.

О ПОВЫШЕНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ, СОДЕРЖАЩЕЙ МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ПРОЕКТЫ

Каиркенов Х.К., Байдалин А.Д., Загидулин И.Р., Лейман А.Ф., Зимин В.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, zimin.1945@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается процедура формирования программы развития, включающей несколько направлений, каждое из которых содержит проекты, описываемые заданной эффективностью и инвестиционными затратами. Одно из направлений развития представлено многоцелевыми проектами, каждый из которых может изменять показатели проектов других направлений. Выполнена формализация задачи в виде задачи квадратичного программирования. Предложена процедура ее решения, основанная на декомпозиции исходной задачи на множество задач о ранге для каждого варианта вхождения многоцелевых проектов в программу развития. Приведены результаты компьютерных экспериментов, показывающие, что вычислительную эффективность предложенной процедуры можно качественно увеличить за счет априорной оценки эффективности вариантов вхождения многоцелевых проектов на основе исходной информации о проектах.

Ключевые слова: программа развития, многоцелевой проект, декомпозиция, задача о ранге, вычислительная эффективность алгоритма, функция распределения, компьютерное моделирование.

Abstract. The article discussed the procedure for the formulation of a development programme, which included several areas, each of which contained projects described by a given efficiency and investment costs. One of the development directions is represented by multi-purpose projects, each of which can change the indicators of projects of other areas. The task is made in the form of a quadratic programming problem. A procedure for its solution is proposed, based on the decomposition of the initial problem into a set of tasks about the rank for each version of entering multi-purpose projects into the development program. The results of the computer experiment are presented, showing that the computational efficiency of the proposed procedure can be qualitatively increased due to a priori assessment of the effectiveness of multi-purpose project entry options based on initial project information.

Keywords: development program, multipurpose project, decomposition, rank problem, numerical efficiency of algorithm, distribution function, computer modeling.

Введение

В публикациях [1,3] рассмотрены задачи формирования портфеля проектов и программы развития при наличии нескольких направлений развития и ограничения на общий объем инвестиций. Представляет интерес разработка механизма решения задачи для случая, когда среди направлений развития имеется многоцелевое направление, проекты которого изменяют показатели проектов не многоцелевых направлений.

Обозначения и формализация задачи. Пусть $P = \{ \{ p_{ji} \mid i = \overline{1, n_j} \} \mid j = \overline{1, m} \}$ - мно-

жество проектов, инициированных для включения в программу развития предприятия (региона, муниципалитета и т.п.). Множество включает m направлений развития, каждое из которых содержит по n_j проектов p_{ji} . Рассмотрим случай, когда одно из направлений состоит из так называемых многоцелевых проектов, то есть проектов, которые вносят определенный вклад в эффективность проектов других направлений. Будем считать многоцелевым m -ое направление развития. Пусть $\alpha_{ji} = \alpha(p_{ji})$ и $c_{ji} = c(p_{ji})$, $i = \overline{1, n_j}; j = \overline{1, (m-1)}$, соответственно, показатели эффективности и размеры инвестиций в проекты не многоцелевых направлений. Влияние отдельного проекта $p_{mi}, i = \overline{1, n_m}$, многоцелевого направления на эффективности проектов других направлений описывается совокупностью кортежей $\{\beta_{ji}^{mi} | i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, (m-1)}\}$, $\{\delta_{ji}^{mi} | i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, (m-1)}\}$, где β_{ji}^{mi} и δ_{ji}^{mi} представляют собой, соответственно, вклад многоцелевого проекта p_{mi} , в эффективность и в снижение затрат на реализацию проектов $p_{ji}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, (m-1)}$.

Введем переменную x_{ji} , которая равна 1, если проект p_{ji} включается в программу развития, и равна 0 в противном случае. Эффект γ_{ji} от реализации не многоцелевого проекта p_{ji} будет

$$\gamma_{ji} = \alpha_{ji} + \sum_{k=1}^m \beta_{ji}^{mk} x_{mk}. \quad (1)$$

Аналогично, затраты μ_{ji} на реализацию этого проекта будут:

$$\mu_{ji} = c_{ji} - \sum_{k=1}^m \delta_{ji}^{mk} x_{mk}. \quad (2)$$

Теперь задача формирования программы развития с учетом многоцелевых проектом формализуется следующим образом

$$A(x) = \sum_{m=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} (\alpha_{ji} + \sum_{k=1}^m \beta_{ji}^{mk} x_{mk}) x_{ji} + \sum_{i=1}^{n_m} \alpha_{mi} x_{mi} \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$C(x) = \sum_{m=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} (c_{ji} - \sum_{k=1}^m \delta_{ji}^{mk} x_{mk}) x_{ji} + \sum_{i=1}^{n_m} c_{mi} x_{mi} \leq c^*. \quad (4)$$

Критерий (3) и ограничение (4) описываются квадратичными функциями. Рассмотрим следующий способ решения этой квадратичной задачи.

Процедура формирования программы развития. Пусть множество $\{x_m^h | h = 1, 2^{n_m}\} = \{(x_{m1}^h, x_{m2}^h, \dots, x_{mn_m}^h) | h = 1, 2^{n_m}\}$ описывает все возможные решения по включению многоцелевых проектов в программу развития. Формализуем задачу формирования программы развития при условии, что выбрано конкретное решение $x_m^h = (x_{m1}^h, x_{m2}^h, \dots, x_{mn_m}^h)$ для проектов многоцелевого направления. Эффект $\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h)$ затраты $\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h)$ для проектов не многоцелевых направлений в этом случае будут

$$\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h) = \alpha_{ji} + \sum_{k=1}^m \beta_{ji}^{mk} x_{mk}^h, \quad (5)$$

$$\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} | x_m^h) = c_{ji} + \sum_{k=1}^m \delta_{ji}^{mk} x_{mk}^h. \quad (6)$$

Соответствующая постановка задачи формирования программы развития будет

$$\mu(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h) = \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} \gamma_{ji}(x_m^h) x_{ji} \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\gamma(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h) = \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_m} \mu_{ji}(x_m^h) x_{ji} \leq c^* - c(x_m^h) = c^*(x_m^h), \quad (8)$$

где c^* - общий размер инвестиций в программу развития и

$$c(x_m^h) = \sum_{i=1}^{n_m} c_{mi} x_{mi}^h. \quad (9)$$

Для решения задачи (7) – (8) применим метод сетевого программирования. Условием его применения является предварительное разбиение затрат c_h^* на $(m-1)$ слагаемых (по числу не многоцелевых направлений развития). Такое разбиение обеспечивает структурное подобие функций критерия и ограничения задачи и сводит задачу (7) – (8) к $(m-1)$ задаче о ранце и последующей интеграции их Парето решений. Так как решение задачи (7) – (8) методом сетевого программирования в этом случае будет зависеть от конкретного разбиения c_h^* , то для нахождения оптимального решения задачи (7) – (8) необходимо решить обобщенную двойственную задачу (ОДЗ), то есть определить такое разбиение

$$c_h^* = \sum_{j=1}^{m-1} c_{jh}^*, \quad (10)$$

которое минимизирует (7).

Пусть $(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)^{opt}$ - оптимальное решение задачи (7) – (8), соответствующее оптимальному решению ОДЗ, то есть оптимальному разбиению (10). Тогда значение критерия $A(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)$ для задачи (3) – (4) при заданном x_m^h примет значение

$$A(x_1 x_2 \dots x_{m-1}, x_m^h) = \mu(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)^{opt} + \sum_{i=1}^m \alpha_{mi} x_{mi}^h. \quad (11)$$

Соответственно, размер инвестиций $C(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)$ в программу развития будет

$$C(x_1 x_2 \dots x_{m-1}, x_m^h) = \gamma(x_1 x_2 \dots x_{m-1} | x_m^h)^{opt} + \sum_{i=1}^m c_{mi} x_{mi}^h. \quad (12)$$

Чтобы сформировать оптимальную программу развития при наличии многоцелевых проектов, необходимо найти оптимальные решения задачи (7) – (8) для каждого из возможных решений $\{x_m^h\}, h = \overline{1, 2^{n_m}}$. Затем, на основании (11), выбрать лучшую комбинацию из решения для многоцелевого и соответствующего решения для не многоцелевых направлений.

Такой подход к формированию программы развития приемлем при небольшом числе n_m многоцелевых проектов, однако с ростом числа решений для многоцелевых проектов, он приводит к значительным вычислительным сложностям.

Механизм повышения вычислительной эффективности предложенной процедуры формирования программы развития. Только одно из решений (7) – (8) доставляет оптимум критерию (11). Представляется целесообразным определить способ априорного ранжирования решений для многоцелевых проектов на основе специальным образом сконструированной метрики, которая оценивала бы величину их «удаленности» от решения, которое обеспечивает глобальный оптимум. Используя метрику, разработаем на ее основе механизм поиска оптимального решения посредством перебора «предпочтительных» решений из подмножества решений, задаваемых метрикой. Если n_m^{pr} – мощность множества «предпочтительных» решений, то вычислительная сложность процедуры будет снижена в $2^{n_m} / 2^{n_m^{pr}} = 2^{(n_m - n_m^{pr})}$ раз.

Сформируем метрику σ_{ud}^h следующим образом:

1. Оценим многоцелевые проекты $p_{mk}, k = \overline{1, n_m}$ по величине $\sigma_{mk} = \sigma(p_{mk})$ их «потенциального» вклада в эффективность проектов не многоцелевых направлений:

$$\sigma_{mk} = \alpha_{mk} + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_i^{n_m} \beta_{ji}^{mk}, k = \overline{1, n_m} \quad (13)$$

2. Оценим «удельную» эффективность σ_{ud}^h каждого элемента множества $\{(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h \mid h = \overline{1, 2^{n_m}}\}$ следующей относительной величиной

$$\sigma_{ud}^h = \sigma_{ud}^h(x_{m1}, \dots, x_{mn_m}) = \sum_{k=1}^{n_m} \sigma_{mk} x_{mk} / \sum_{k=1}^{n_m} c_{mk} x_{mk}, h = \overline{1, 2^{n_m}} \quad (14)$$

Упорядочим элементы $(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h$ по убыванию величины σ_{ud}^h . Пусть последовательность

$$((x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h \mid h = \overline{1, 2^{n_m}}) \quad (15)$$

является результатом упорядочения. В (15) решения по вхождению в программу развития многоцелевых проектов ранжированы по значению метрики σ_{ud}^h , которая описывает степень «потенциального» воздействия решений на проекты не многоцелевых направлений. Заметим, что метрика учитывает, как величину «потенциального» вклада многоцелевых проектов в эффективности проектов не многоцелевых направлений, так и размер инвестиций на реализацию не многоцелевых проектов.

Оценку эффективности метрики σ_{ud}^h выполним на основе компьютерного моделирования, используя результаты которого построим эмпирическую функцию распределения для определения глобального оптимума исходной задачи (3) – (4) при решении задачи (7) – (8) для первого решения из (15), при решении задачи (7) – (8) для первого и второго решения из (10), ..., при решении задачи (7) – (8) для всех решений из (10). Функция распределения позволяет, в частности, получить ЛПР ответы на следующие вопросы:

- для какого количества первых из последовательности (15) вариантов вхождения многоцелевых проектов необходимо решить задачу (7) – (8), чтобы с заданной вероятностью p^* найти глобальный оптимум исходной задачи (3) – (4);

- какова вероятность нахождения оптимального оптимума исходной задачи (3) – (4), если решить задачу (7) – (8) для заданного количества k^* первых из последовательности (10) вариантов вхождения многоцелевых проектов.

Результаты компьютерного регулирования. Для выполнения моделирования было разработано программное обеспечение формирования программ развития с учетом многоцелевых проектов. Исходные данные для формирования программы включали три «рядовых» направления (соответственно, из 7, 5, и 9 проектов) и многоцелевое направление из трех проектов. Всего было проведено 8 серий экспериментов. Каждая серия состояла из 6 экспериментов. Каждый эксперимент состоял в решении задачи (7) – (8) для $2^3 - 1 = 7$ вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития. Вариант $(x_{41}, x_{42}, x_{43}) = (0, 0, 0)$ был исключен из рассмотрения, так как на нем метрика σ_{ud}^h не определена.

Результаты одного из экспериментов и данные о «предпочтительности» вариантов вхождения многоцелевых проектов в программу развития приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эффективностей вариантов вхождения многоцелевых проектов на основе решения задачи (7) – (8) и на основе метрики σ_{ud}^h

$(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h$	1 1 1	1 0 1	1 1 0	0 1 1	1 0 0	0 0 1	0 1 0
$\mu_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} x_m^h)$	244	208	198	193	162	157	147
$\gamma_{ji}(x_1, \dots, x_{m-1} x_m^h)$	15005	12748	13605	13273	11348	11016	11873
$(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn_m})^h$	0 0 1	1 0 1	1 0 0	1 1 1	0 1 1	1 1 0	0 1 0
σ_{ud}^h	0,0371	0,0362	0,0354	0,0309	0,0287	0,0286	0,0234

Анализ данных таблицы 1 показывает, что для получения глобального оптимума исходной задачи необходимо решить задачу (7) – (8) для первых четырех (из семи) вариантов вхождения многоцелевых проектов, определяемых метрикой σ_{ud}^h . Соответствующая этим данным эмпирическая функция распределения глобального оптимума представлена на рисунке 1. Эмпирическая функция распределения глобального оптимума, построенная на данных серии из 6 экспериментов представлена на рисунке 2

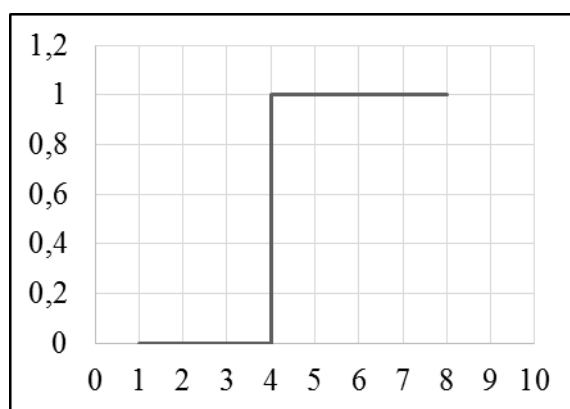


Рисунок 1 – Эмпирическая функция распределения, построенная на данных одного эксперимента

Функция распределения рисунка 2 позволяет ответить на поставленные выше вопросы. В частности, для гарантированного (с вероятностью 1) получения глобального оптимума необходимо решить задачу (7) – (8) для четырех вариантов вхождения многоце-

левых проектов в программу развития. Если же решить задачу только для первых двух вариантов вхождения многоцелевых проектов, то вероятность получения глобального оптимума равна 0,33.

Обработка данных 4 серий из 6 экспериментов позволило построить эмпирическую функцию распределения глобального оптимума, представленную на рисунке 3.

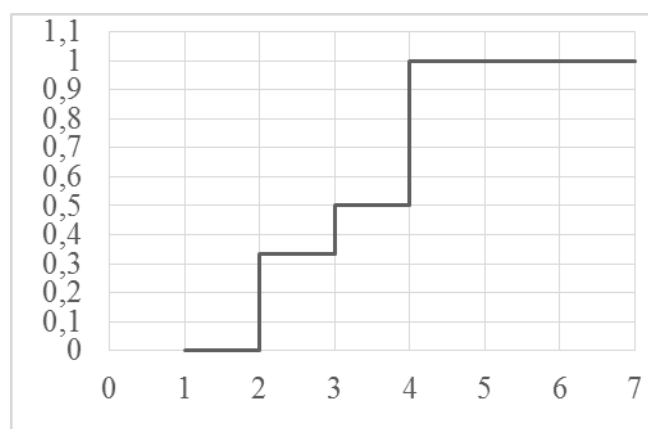


Рисунок 2 – Эмпирическая функция распределения, построенная на серии из 6 экспериментов

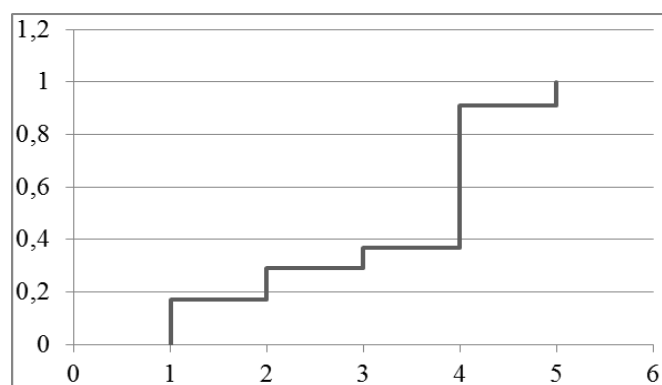


Рисунок 3 – Эмпирическая функция распределения, построенная на данных 4 серий экспериментов

Заключение. Опираясь на информацию, содержащуюся в эмпирической функции распределения глобального оптимума, ЛПР может определить, исходя из текущей обстановки, наилучший для него баланс между вычислительной эффективностью (временем, необходимым для поиска глобального оптимума) и вероятностью нахождения оптимального решения исходной задачи (3) – (4).

Библиографический список

1. Селезнев, А.А. Формирование программы регионального развития с учетом рисков проектов / А.А Селезнев, В.Н. Бурков, В.В. Зимин // Экономика и менеджмент систем управления. -2014. -№3(13). – С.58 -66.
2. Зимин, А.В. Модели и механизмы управления эффективностью ИТ-процессов / А.В. Зимин, И.В. Буркова, В.В. Зимин // Системы управления и информационные технологии. – 2019. – №4(78). – С. 37–41.
3. Зимин, А. В. Интеллектуализация механизма планирования образовательной и научной деятельности преподавателя университета / А. В. Зимин, Р. С. Койнов, В. В. Зимин // Труды V Международной научно-практической конференции, 14 апреля 2021 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. И. А. Рыбенко, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2021. – С. 434 – 439.

НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И ОБРАБОТКЕ СОЦИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Каган Е.С., Багдасарян В.А., Киндяков А.А.

*Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия, kaganes@mail.ru*

Аннотация: Данная статья посвящена разработке подхода к формализации социологической информации, представленной вариантами ответов респондентов в рамках комплексного оценивания некоторого процесса. Варианты ответов респондентов переводятся в нечеткие числа. Для построения функций принадлежности используется апостериорный подход. В качестве прикладной задачи решается задача получения количественной оценки показателя, характеризующего «культ силы», т.е., восприятия насилия, как предпочитаемого способа достижения своих целей студенческой молодежью.

Ключевые слова: комплексные оценки, нечеткие числа, ранговые данные

Abstract: This article is devoted to the development of an approach to the formalization of sociological information, which is represented by the answers of respondents who participated in a comprehensive assessment of a certain process. The respondents' answers were then converted to fuzzy numbers. To construct membership functions, a posteriori approach was used. An applied task is finding a solution to the problem of obtaining a quantitative assessment of parameter characterizing "a cult of power" (i.e., the perception of violence as the most preferable way of achieving one's goals among young students).

Keywords: comprehensive evaluations, fuzzy numbers, order data.

Успешное функционирование любой социальной системы зависит от того насколько адекватны управляющие решения, принимаемые на основе информации о внутренней структуре системы, внешней среды ее функционирования, ее связях с другими системами. Особенностью различных социальных процессов является разнотипность доступной информации об изучаемом объекте исследования, которая в ряде случаев в силу своей трудноформализуемости может быть представлена только в вербальном - описательном варианте. Различный характер поступающей информации требует дифференцируемого подхода к методам ее обработки. Использование при описании процессов информации, измеренной в качественных шкалах, существенно снижает круг математических методов, которые можно применять для ее анализа.

Так в социологических исследованиях одной из актуальных задач, является задача перевода данных анкетного опроса респондентов, направленных на комплексную оценку некоторой проблемы, в количественную шкалу, с целью дальнейшего использования этой информации в методах многомерного статистического анализа. Данная проблема заключается в том, что ответы респондентов носят лингвистический характер и могут быть представлены только в виде показателей, измеренных в номинальной или в лучшем случае в ранговой шкале, не допускающих алгебраические операции с ними.

Лайкертом был предложен подход получения суммарных оценок по ряду упорядоченных номинальных шкал, получивший название шкалы Лайкерта или «кафетерия» [1]. Респонденту предлагается дать свою оценку группе утверждений с возможными вариантами ответов: «согласен», «скорее согласен», «затрудняюсь ответить», «скорее не согласен» и «не согласен». Предлагаемые суждения могут делиться на позитивные и негативные. Позитивные выражают положительное отношение к исследуемой проблеме, ответ «согласен» соответствует 5 баллам, а «не согласен» соответствует 1 баллу. Негативные же суждения выражают отрицательное отношение с противоположной кодировкой ответов. Общая оценка получается путем суммирования соответствующих вариантов ответов.

Однако и измерения, полученные путем применения шкалы Лайкерта, также являются ранговыми данными. В ранговых шкалах алгебраическая операция сложения недопустима, так как неизвестны расстояния между соседними отсчетами данной шкалы [2]. В соответствии с этим использование шкалы Лайкерта для получения количествен-

ных комплексных оценок в целях их последующего применения в многомерном статистическом анализе является проблематичным.

Одним из подходов в решении этой проблемы заключается в переводе ранговых данных в количественную шкалу при помощи соответствующих процедур аппарата теории нечетких множеств [3,4].

Пусть респонденту предлагается оценить свое отношение по некоторому вопросу, используя предлагаемые варианты ответов: Т1- «негативное»; Т2 – «нейтральное»; Т3- «положительное». Для получения количественной оценки каждый из вариантов ответов представим в виде нечетких чисел, с трапециевидными и треугольными функциями принадлежности (ФП). Для построения ФП используется апостериорный подход [3], заключающийся в том, что площади фигур, ограниченных этими функциями и осью абсцисс, равнялись относительной частоте выборов респондентами соответствующего варианта ответа.

Пусть в результате опроса респондентов были получены относительные частоты вариантов выборов соответственно: для Т1 - a_1 , для Т2 - a_2 и для Т3- a_3 . Тогда функции принадлежности для термов Т1-Т3, соответствующие нечетким числам, используя информацию об относительных частотах будут определяться по формулам, представленным ниже.

Для термина Т1:

Если $a_1 \leq a_2$, то

$$\mu_{x_1}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq \frac{a_1}{2} \\ 1 - \frac{x - \frac{a_1}{2}}{a_1}, & \frac{a_1}{2} < x \leq \frac{3a_1}{2} \\ 0, & \frac{3a_1}{2} < x \leq 1 \end{cases};$$

1) Если $a_1 > a_2$

$$\mu_{x_1}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a_1 - \frac{a_2}{2} \\ 1 - \frac{x - (a_1 - \frac{a_2}{2})}{a_1}, & a_1 - \frac{a_2}{2} < x \leq a_1 + \frac{a_2}{2} \\ 0, & a_1 + \frac{a_2}{2} < x \leq 1 \end{cases};$$

Для термина Т2:

1) $a_2 \geq \max(a_3, a_1)$

$$\mu_{x_2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \frac{a_1}{2} \\ 1 + \frac{x - (a_1 + \frac{a_1}{2})}{a_1}, & \frac{a_1}{2} < x \leq a_1 + \frac{a_1}{2} \\ 1, & a_1 + \frac{a_1}{2} < x \leq 1 - \frac{3a_3}{2} \\ 1 - \frac{x - (1 - \frac{3a_3}{2})}{a_3}, & 1 - \frac{3a_3}{2} < x \leq 1 - \frac{a_3}{2} \\ 0, & 1 - \frac{a_3}{2} < x \leq 1 \end{cases};$$

$$2) a_3 < a_2 < a_1$$

$$\mu_{x_2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 1 - a_3 - \frac{3a_2}{2} \\ 1 + \frac{x - (1 - a_3 - \frac{a_2}{2})}{a_2}, & 1 - a_3 - \frac{3a_2}{2} < x \leq 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} \\ 1, & 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} < x \leq 1 - \frac{3a_3}{2}; \\ 1 - \frac{x - (1 - \frac{3a_3}{2})}{a_3}, & 1 - \frac{3a_3}{2} < x \leq 1 - \frac{a_3}{2} \\ 0, & 1 - \frac{a_3}{2} < x \leq 1 \end{cases};$$

$$3) a_1 < a_2 < a_3$$

$$\mu_{x_2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \frac{a_1}{2} \\ 1 + \frac{x - (a_1 + \frac{a_1}{2})}{a_1}, & \frac{a_1}{2} < x \leq a_1 + \frac{a_1}{2} \\ 1, & a_1 + \frac{a_1}{2} < x \leq 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} \\ 1 - \frac{x - (1 - a_3 - \frac{a_2}{2})}{a_2}, & 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} < x \leq 1 - a_3 + \frac{a_2}{2} \\ 0, & 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} < x \leq 1 \end{cases};$$

$$4) a_2 \leq \min(a_3, a_1)$$

$$\mu_{x_2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 1 - a_3 - \frac{3a_2}{2} \\ 1 + \frac{x - (1 - a_3 - \frac{a_2}{2})}{a_{k-1}}, & 1 - a_3 - \frac{3a_2}{2} < x \leq 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} \\ 1 - \frac{x - (1 - a_3 - \frac{a_2}{2})}{a_2}, & 1 - a_3 - \frac{3a_2}{2} < x \leq 1 - a_3 + \frac{a_2}{2} \\ 0, & 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} < x \leq 1 \end{cases};$$

Для терма ТЗ:

1) Если $a_3 \leq a_2$, то

$$\mu_{x_3}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 1 - \frac{3a_3}{2} \\ 1 + \frac{x - (1 - \frac{a_3}{2})}{a_3}, & 1 - \frac{3a_3}{2} < x \leq 1 - \frac{a_3}{2}; \\ 1, & 1 - \frac{a_3}{2} < x \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

2) $a_3 > a_2$

$$\mu_{x_3}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 1 - a_3 - \frac{a_2}{2} \\ 1 + \frac{x - (1 - a_3 + \frac{a_2}{2})}{a_k}, & 1 - \frac{a_2}{2} < x \leq 1 - a_3 + \frac{a_2}{2}; \\ 1, & 1 - a_3 + \frac{a_2}{2} < x \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Функция принадлежности трапецевидной формы может определяться через 4 параметра: $\mu(x) = \mu(k_1, k_2, k_3, k_4)$, где k_2, k_3 - соответственно границы интервала толерантности (интервала, где значение ФП равно 1), k_1, k_4 - соответственно левый и правый нули функции принадлежности.

После того как определены ФП нечетких чисел производится расчет их центроидов, используя метод центра тяжести. Для ФП такого вида на основании четырех параметров центроид может быть определен, используя соотношение вида [5]:

$$E = \frac{(k_3 k_4 - k_1 k_2) + (1/3)((k_4 - k_3)^2 - (k_2 - k_1)^2)}{k_4 + k_3 - k_2 - k_1}$$

Полученные значения центроидов нечетких чисел переводятся в единичный диапазон путем применения процедуры нормирования.

Рассмотрим возможность применения данного подхода для решения следующей прикладной задачи.

В настоящее время значительную распространенность в российском обществе приобрело явление экстремизма. Основным носителем этого явления является молодежь в том числе и студенческая, как наиболее импульсивная и подверженная внешним влияниям часть общества. Данные тенденции выражаются в том, что при оценке различных общественных ситуаций преобладает радикализм и агрессия. Поэтому своевременное выявление и оценка противоправных тенденций, соответствующая профилактическая работа является актуальными задачами любых молодежных организаций.

Для комплексной оценки уровня противоправного поведения студенческой молодежи была разработана методика, включающая группу утверждений, оценивающих 5 диспозиций [6]. Респондентам необходимо было высказать свое отношение к каждому утверждению по 5-балльной шкале: 1- категорически не согласен, 5 – совершенно согласен. Оценка уровня каждой диспозиции должна проводится путем сложения вариантов ответов 6 утверждений (шкала Лайкерта). Однако, как было отмечено выше, применение алгебраических операций к ранговым данным является некорректным. Кроме того, анализ распределения выборов вариантов ответов показал, что для одних утверждений оно является асимметричным, для других близко к равномерному, что также не учитывается в шкале Лайкерта.

Для перевода ранговых данных в метрическую шкалу применялся апостериорный подход. Для формирования условных норм каждой диспозиции была опрошена группа студентов КемГУ (780 человек), исследование проводилось анонимно через гугл-форму. В таблице 1 представлены результаты частот выбора вариантов ответов утверждений, характеризующих «Культ силы», (диспозиции, связанной с восприятием насилия как предпочитаемого способа достижения своих целей и разрешения противоречий. Этой диспозиции свойственно выставление на показ своей силы. Противоположность – признание необходимости договариваться [6]) среди опрошенной группы девушек (468 человек).

Таблица 1 - Распределение относительных частот выбора вариантов ответов группы утверждений, оценивающих диспозицию «Культ силы» в группе девушек

Утверждение	Частота выбора варианта ответа				
	1	2	3	4	5
Для равномерного распределения	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<i>B4</i>	0,494	0,297	0,145	0,053	0,001
<i>B11</i>	0,237	0,291	0,233	0,143	0,096
<i>B19</i>	0,53	0,256	0,169	0,028	0,017
<i>B27</i>	0,301	0,209	0,263	0,139	0,088
<i>B35</i>	0,263	0,269	0,269	0,126	0,073
<i>B43</i>	0,53	0,348	0,094	0,022	0,006

Анализ результатов, представленных в таблице 1, позволяет сделать вывод о том, что распределение частот выборов вариантов ответов для различных утверждений различно. Есть утверждения с сильно асимметричным распределением (*B19*, *B43*), а также утверждения, распределение вариантов выбора в которых, близки к равномерному (*B27*, *B35*) и не учитывать этот факт при комплексной оценке некорректно.

В таблице 2 представлены значения количественной шкалы единичного диапазона, полученной путем перевода данных шкалы Лайкерта в метрическую шкалу с использованием нечетких чисел.

Таблица 2 - Результаты перевода ранговой шкалы в метрическую

Шкала при равномерном распределении	0	0,25	0,5	0,75	1
Нечеткая равномерная шкала	0	0,244681	0,5	0,755319	1
Утверждение	Вариант ответа				
	1	2	3	4	5
<i>B4</i>	0	0,558845003	0,798895863	0,849259571	1
<i>B11</i>	0	0,329224939	0,59566728	0,759044817	1
<i>B19</i>	0	0,584709813	0,812747636	0,848764756	1
<i>B27</i>	0	0,341079819	0,560668128	0,725672481	1
<i>B35</i>	0	0,340215271	0,591246154	0,734169076	1
<i>B43</i>	0	0,611831269	0,89416306	0,916054933	1

Анализ результатов, представленных в таблице 2, показал, что, чем более асимметричным является распределение вариантов выбора ответов респондентов, тем значимее отличаются отсчеты единичной шкалы от равномерного (таблица 2, *B19*, *B43*).

Заключение

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы. Использование нечеткого подхода позволяет решить задачу перевода ранговых данных в количественную шкалу, то есть, определить расстояние между вариантами выбора ответов респондентов. При определении отсчетов единичного диапазона учитывается и частота выбора варианта ответа. Относительная ошибка отклонения нечеткой шкалы от соответствующей ей четкой количественной шкалы при использовании 5 термов (отсчетов) составляет 0,7092 %.

Построенные на основе данного подхода количественные оценки показателей могут быть использованы на следующих этапах исследования для решения различных прикладных задач, например, построения прогнозных моделей, моделей классификации и др.

Библиографический список

1. Ядов В.А. Стратегии и методы качественного анализа данных. / В.А. Ядов - Социология: 4М. 1991. №1. 14-30 с.
2. Орлов А.И. Нечисловая статистика / А.И. Орлов - М.: МЗ-Пресс, 2004. 51 с.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. / А. Пегат; пер. с англ. – 2-е изд. (эл.). – М., 2013. – 798 с.
4. Chiu-Keung Law. Using fuzzy numbers in educational grading system // Fuzzy Sets and Systems, 1996, V. 83, 311-323 pp.
5. Каган Е.С. Построение комплексных нечетких оценок эффективности деятельности вуза и публичной формализации деятельности преподавателя/Е. С. Каган//Известия Алтайского государственного университета. 2015. Т.1-1(86). С.152-157.
6. Давыдов Д. Г., Хломов К. Д. Методика диагностики диспозиций насильственного экстремизма/ Д. Г. Давыдов, К. Д. Хломов //Психологическая диагностика. – 2017. – Т. 14. – №. 1. – С. 78-97.

МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД НА ОСНОВЕ ИТЕРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИТ-ПРОЕКТА

Пронин С.Ю., Добрынин А.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия*

Аннотация. Создание новых моделей жизненного цикла инновационных проектов и механизмов стимулирования проектных команд, работающих в сфере информационных технологий имеет важнейшее значение для повышения эффективности управления деятельностью в сфере высоких технологий. Вопросы стимулирования таких команд, использующих технологии *kanban*, *scrum* недостаточно проработаны на практике и нуждаются в серьезной теоретической доработке.

Ключевые слова: механизм управления; мотивационное управление; стимулирование; гибкие команды, итерационная модель.

Abstract. Creation of new models of the life cycle of innovative projects and mechanisms for stimulating project teams, working in the field of information technology is essential to improve efficiency management of activities in the field of high technologies. Incentive issues for such teams using *kanban* technology, *scrum* is not sufficiently developed in practice and needs serious theoretical refinement.

Keywords: control mechanism; motivational management; stimulation; agile teams, iteration model.

Описание механизма стимулирования

В последнее время широкое распространение получили гибкие (agile) методологии разработки программного обеспечения. Проектные команды, работающие в рамках гибких подходов, объединяют общие принципы толерантности, приверженности изменениям, открытости, пользовательских историй, взаимодействию с заказчиком [1]. Общеизвестно, что большинство классических подходов, будь то каскадная или спиральная модель жизненного цикла проекта объединяет центральная идея, формирование детально проработанных частичных проектных решений на каждом этапе жизненного цикла. Эти подходы хороши, однако они не работают в условиях существенных изменений, когда цели и задачи проекта кардинально изменяются непосредственно в процессе создания системы или проекта, что в целом характерно для современных быстро изменяющихся рыночных условий. Между классическими и гибкими методологиями создания программных продуктов лежит «значительная идеологическая пропасть».

Современные гибкие подходы в ИТ-деятельности представляют собой достаточно жесткие, бескомпромиссные технологии создания информационных систем и программ-

ных продуктов, которые постепенно вытесняют классические технологии во всем мире. Это происходит в первую очередь потому, что классические методологии являются более громоздкими и тяжеловесными средствами получения готовых решений, что часто не согласуется с требованиями быстрой разработки и потребностями бизнеса. К основному недостатку классических подходов можно отнести потери информации и времени при передаче частей продукта между постановщиками задачи проектировщиками, программистами, тестировщиками. Также, зачастую возникают сопутствующие трудности, связанные с искажением данных, обеспечением эффективной коммуникации между специалистами смежных отраслей. Электронщики не понимают программистов, бизнес – аналитикам сложно осознать технические преимущества или проблемы отдельных проектных решений, по сравнению с другими, что в итоге приводит к появлению неоптимальных решений, трудных в использовании и сопровождении.

Данный доклад не ставит целью рассматривать преимущества или недостатки гибких подходов по сравнению с другими. Эти вопросы достаточно подробно разобраны во многих научных публикациях [2-4]. Однако следует выделить объективные тенденции, связанные с общим увеличением доли продуктов, реализованных в рамках гибкого подхода, в рыночных условиях. Предполагаем, что проектная команда использует некие итерационные модели жизненного цикла, с инкрементным приростом функционала продукта, построенные на коротких, фиксированных итерациях с жестко заданными сроками и бюджетом, заранее написанными модульными тестами, для покрытия определенных участков функциональности, запланированных к реализации за определенную итерацию (рисунок 1).

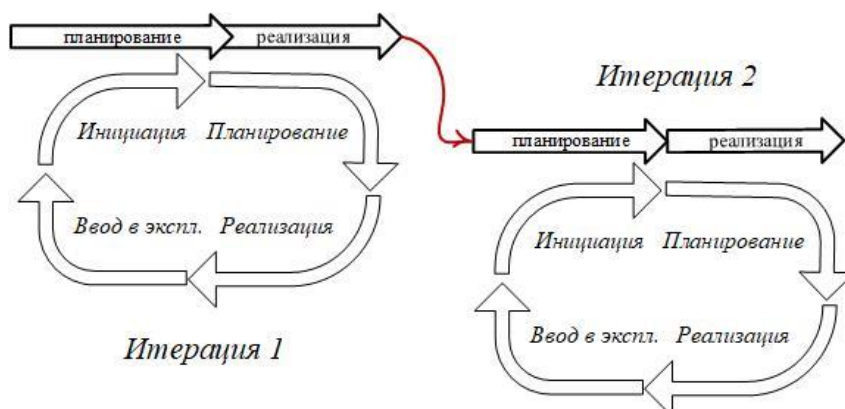


Рисунок 1 - Итерационная модель жизненного цикла

Соответствующая итерация может называться спринтом (scrum), циклом получения продукта или каким-нибудь другим именем, что не меняет общую суть всех гибких подходов. Общая идея всех итерационных моделей жизненного цикла заключается в наращивании функционала на каждой итерации и согласовании его с бизнесом. В связи с этим, необходимы новые методы, модели и механизмы стимулирования команд, работающих в рамках гибкой парадигмы.

В литературе описывается большое количество различных, готовых к применению математических моделей и подходов к стимулированию, показавших теоретическую и практическую эффективность для различных сфер человеческой деятельности, [5, 6]. Классифицируя эти модели в достаточно общем случае, получаем соответствующие очень часто используемые на практике модели:

а) Системы стимулирования в рамках механизма «затраты-эффект», [6]. Используют идею компенсации затрат исполнителей или ожидаемого экономического эффекта от выполненного действия Y , агента $ag_i \in \overline{Ag}$.

б) Аддитивные системы стимулирования. Основаны на аддитивной свертке и позволяют получить аддитивные агрегированные значения фактических выплат.

в) Мультипликативные системы стимулирования. Формируется мультипликативная свертка, которая используется в современных системах расчета ожидаемой окупаемости [7], а также в системах, с отложенным эффектом, типа механизма «затраты – ожидаемый комплексный эффект».

г) Дихотомические механизмы [8, 9]. Формируются путем типовых дихотомических преобразований в системах стимулирования с ярко выраженной нечеткой составляющей.

д) Системы, основанные на метриках проектной или операционной деятельности, ключевых показателях эффективности и других расчетных метриках.

е) Системы стимулирования, полученные в процессе анализа и комплексирования всех перечисленных выше систем и настроенные под нужды конкретных организационных систем.

Утверждаем, что некоторый, удовлетворяющий бизнес результат будет в итоге получен на определенном этапе, за определенное количество итераций. Идея предлагаемого в данной статье механизма заключается в том, что наряду с соблюдением базовых параметров срока и бюджета итерации, должны стимулироваться также исполнители, которые обеспечивают в итоге инкрементный прирост функционала продукта и закрывают основную часть модульных тестов (Unit Tests). Общий вклад исполнителей гибкой команды с использованием управляемой тестированием разработкой, в долю функционала продукта может быть разным. Очевидно в данном случае, что наибольшие стимулирующие выплаты должны получить исполнители, которые в конечном счете обеспечили наибольший прирост функционала готового продукта.

Рассмотрим предлагаемый механизм, который будем называть унифицированным механизмом для гибких проектных команд. Подавляющее большинство проектных команд, склонных к гибкой ИТ-деятельности, ориентируется на итерационную модель деятельности, в той или иной степени. Примем эту модель в качестве основополагающей в этой работе, при синтезе соответствующего механизма стимулирования.

Приведем функцию стимулирования унифицированного механизма, которая может использоваться для вычисления стимулирующих выплат, при соблюдении сроков и бюджета проекта, а также достижения требуемого бизнесу результата, выражение (1):

$$\sigma_j^{\text{ар}} = \begin{cases} \alpha_j(B_j^* - B_j) + \beta_j(T_j^* - T_j)S_jn - \gamma|Hr_j - Hr_j^*|; B_j \leq B_j^*; T_j \leq T_j^* \\ \alpha_j(B_j^* - B_j) - \beta_j(T_j - T_j^*)S_jn - \gamma|Hr_j - Hr_j^*|; B_j \leq B_j^*; T_j \geq T_j^* \\ \beta_j(T_j^* - T_j)S_jn - \alpha_j(B_j - B_j^*) - \gamma|Hr_j - Hr_j^*|; T_j \leq T_j^*; B_j \geq B_j^* \\ 0, \text{const}; B_j \geq B_j^*; T_j \geq T_j^* \end{cases} \quad (1)$$

Представленная формула реализует одну из достаточно распространенных в экономике идей «мягкого» (soft) приращения стимулирующих выплат при завершении очередной итерации j для гибкой команды разработчиков. Используются следующие обозначения: B_j^* – бюджет, запланированный заказчиком, на выполнение j -й итерации проекта; T_j^* – сроки, запланированные заказчиком на выполнение требуемых работ итерации, T_j – сроки фактического выполнения работ в течение j -й итерации; соответственно Hr_j, Hr_j^* – фактически полученная и ожидаемая полезность выполненных работ для бизнеса, S_j – усредненное значение ставки оплаты труда (за час), n – количество рабочих часов. Здесь используется классическое понимание ожидаемой полезности, принятое в теории игр.

Таким образом, несмотря на мягкое приращение выплат, приведенное выше выражение не отражает природу инкрементного прироста функционала гибких моделей разработки программного обеспечения. Проектная деятельность определенных агентов $ag \in \overline{Ag}$ заключается в достижении ими необходимого прироста функционала, покрытии

бэклога или пространства модельного тестирования. Разобьем все достигаемое в течение отдельной итерации пространство функционала $\bar{F} = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$ по укрупненным кластерам проекта f_1, \dots, f_n . Для решения этой задачи может использоваться отдельная эвристическая процедура, описание которой выходит за рамки данной публикации. Сформируем отображение действий агентов y_{ar} на укрупненные функциональные кластеры f_1, f_2 в процентном соотношении таким образом, чтобы суммарное действие всех исполнителей по отдельному кластеру, допустим f_1 , составляло 100%. Введем обозначение μ_{ar}^{ft} которое представляет собой процент закрытых агентом задач в некотором функциональном кластере $f \in \bar{F}$. В таком случае механизм стимулирования гибкой команды разработчиков, который опирается на инкрементную модель прироста функциональности, может быть описан выражением (2).

$$\sigma_j^{ar} = \begin{cases} (\alpha_j(B_j^* - B_j) + \beta_i(T_j^* - T_j)S_jn - \gamma|Hr_j - Hr_j^*|)\mu_{ar}^{ft}; B_j \leq B_j^*; T_j \leq T_j^* \\ (\alpha_j(B_j^* - B_j) - \beta_j(T_j - T_j^*)S_jn - \gamma|Hr_j - Hr_j^*|)\mu_{ar}^{ft}; B_j \leq B_j^*; T_j \geq T_j^* \\ (\beta_i(T_j^* - T_j)S_jn - \alpha_j(B_j - B_j^*) - \gamma|Hr_j - Hr_j^*|)\mu_{ar}^{ft}; T_j \leq T_j^*; B_j \geq B_j^* \\ 0, const; B_j \geq B_j^*; T_j \geq T_j^* \end{cases} \quad (2)$$

Приведенный механизм стимулирования (выражение 2) отражает с одной стороны требуемые нормативные сроки выполнения работ в соответствии со сроками, бюджетом и ожидаемой полезности. С другой стороны, механизм также учитывает все необходимые элементы итерационно – инкрементной модели, позволяя выплачивать вознаграждение агенту в зависимости от реализованной им функциональности.

Заключение

Рассмотрены вопросы создания систем стимулирования для проектных команд, которые в своей работе руководствуются agile-принципами. Приведена унифицированная функция стимулирования, которая при необходимости может быть скорректирована, дополнена под реальные практические задачи деятельность гибких (agile) команд.

Библиографический список

1. Мартин, Р. Принципы, паттерны и методики гибкой разработки на языке С# / Мартин Р., Мартин М. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2013. – 768 с., ил.
2. Майк Кон. Scrum: гибкая разработка ПО - Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum (Addison-Wesley Signature Series).- М.:«Вильямс», 2011. - С. 576. — ISBN 978-5-8459-1731-7.
3. Роберт С. Мартин, Джеймс В. Ньюкирк, Роберт С. Косс. Быстрая разработка программ. Принципы, примеры, практика - Agile software development. Principles, Patterns, and Practices. - Вильямс, 2004. - 752 с. - ISBN 0-13-597444-5.
4. Добрынин А.С., Койнов Р.С., Кулаков С.М. Модель неполного жизненного цикла программного обеспечения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 2. С. 65-70.
5. Бурков, В. Н. Основы математической теории активных систем / В. Н. Бурков. – Москва: Наука, 1977. – 255 с.
6. Новиков, Д. А. Стимулирование в организационных системах / Д. А. Новиков. – Москва: Синтег, 2003. – 305 с.
7. Кулаков, С. М. Многоструктурное прогнозирование сроков окупаемости инвестиционного проекта / С. М. Кулаков, А. И. Мусатова, П. П. Баранов // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS`2015: труды X Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк 17–19 декабря 2015 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – С. 35–41.
8. Бурков В. Н., Буркова И. В. Метод дихотомического программирования. –

Теория активных систем / Труды международной научно-практической конференции. (17-19 ноября 2003г., Москва, Россия). Общая редакция – В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. Том 1. – М.: ИПУ РАН, 2003. – С. 25-26.

9. Бурков В. Н., Буркова И. В. Задачи дихотомической оптимизации. – Материалы международной научно-технической конференции «Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий», Радио и связь, 2003. С. 23-28.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА МУЛЬТИСИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Новосельцева М.А., Гутова С.Г., Чуриков И.Ю.

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия, tan300674@gmail.com

Аннотация. Автоматизированная информационная система анализа мультисинусоидальных сигналов на основе аппарата непрерывных дробей и метода структурно-параметрической идентификации включает в себя: алгоритм построения идентифицирующей матрицы по исходным данным, алгоритм сворачивания непрерывной дроби в дробно-рациональное выражение, алгоритм нахождения комплексных корней уравнения n -ой степени с действительными коэффициентами, алгоритм нахождения круговых частот гармонических составляющих и алгоритм решения системы линейных уравнений для нахождения амплитуд и начальных фаз гармоник сигнала и величины его постоянного смещения.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, диалоговое окно, мультисинусоидальный сигнал, структурно-параметрическая идентификация, непрерывная дробь.

Abstract. The automated information system for the analysis of multi-signal signals based on the apparatus of continued fractions and the method of structural-parametric identification includes several sub-algorithms, such as: creating an identifying matrix based on input information about the signal, representing a finite continued fraction as a rational function, finding complex roots of a general polynomial with real coefficients, finding frequencies of harmonic components, solving a system of linear equations to find amplitudes and phases of harmonics and the constant bias.

Keywords: automated information system, dialog box, multisinusoidal signal, structural and parametric identification, continued fraction.

Проблема обнаружения периодических компонент в мультисинусоидальном сигнале вызывает интерес в различных практических приложениях. Изучение вибрационных явлений в технике дает возможность обнаруживать основные источники вибрации, что, в свою очередь, обеспечивает правильную методику виброиспытаний, без которых не обходится создание ни одного из изделий техники. Исследование мультисинусоидальных сигналов на выходе дозаторов и смесителей в пищевой промышленности необходимо при разработке новых видов и конструкций, удовлетворяющих современным требованиям, позволяющим получать высококачественную продукцию и выпускать ресурсосберегающее оборудование.

Любая периодическая функция может быть представлена в виде ряда Фурье, который представляет сумму бесконечного количества гармонических колебаний. Выбор разложения, обеспечивающего заданную точность вычислений, осуществляется путем подбора количества гармонических составляющих.

Модель мультисинусоидального сигнала имеет вид (1) и представляет собой смещение μ , сумму n гармоник с неизвестными круговыми частотами ω_i , амплитудами C_i и начальными фазами φ_i :

$$x(t) = \mu + \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i t + \varphi_i). \quad (1)$$

Оцифрованные значения сигнала с равномерным шагом дискретизации Δt для $i = \overline{1, n}$ определяются измерительной информацией вида (2):

$$x(k\Delta t) = \mu + \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i k\Delta t + \varphi_i). \quad (2)$$

Целью работы является создание автоматизированной информационной системы анализа мультисинусоидальных сигналов на основе реализации метода структурно-параметрической идентификации, который позволяет найти количество гармоник n в сигнале и все его неизвестные параметры μ , ω_i , C_i , φ_i на основе измеренных с заданным шагом дискретизации значений сигнала [1].

Для достижения поставленной цели необходимо создание алгоритма вычислений для программной реализации метода структурно-параметрической идентификации, включающего себя алгоритм построения идентифицирующей матрицы по исходным данным, алгоритм сворачивания непрерывной дроби в дробно-рациональное выражение, алгоритм решения уравнения n -й степени с действительными коэффициентами.

Для реализации алгоритма цифрового моделирования мультисинусоидального сигнала и его последующей идентификации по оцифрованным значениям был выбран язык программирования C++. Для разработки графического интерфейса приложения была выбрана среда разработки Embarcadero C++Builder Community Edition [2]. Визуализация исходных и восстановленных моделей мультисинусоидальных сигналов при разработке осуществлялась с помощью встроенного набора компонентов для создания диаграмм и графиков TeeChart. Для нахождения комплексных корней уравнения n -й степени, имеющего действительные коэффициенты, были использованы функции сторонней свободно распространяемой библиотеки GNU Scientific Library (GSL) [3].

В качестве входных данных для вычислений программа использует табличный файл, оформленный согласно следующим требованиям: список оцифрованных с постоянным шагом дискретизации значений t и $x(t)$ соответственно, начиная с $t = 0$, находится в первых двух столбцах таблицы. В первой ячейке четвертого столбца указывается количество используемых измерений, которое рассчитывается автоматически или задаётся вручную, но не превышает количество заданных измерений.

Также в программе имеется возможность сгенерировать файл входных данных самостоятельно. Для этого в диалоговом окне «Ввод данных» необходимо предварительно ввести количество гармоник и величину постоянного смещения, а затем в следующем окне «Моделирование мультисинусоидального сигнала» указать в специальной форме «Ввод параметров» параметры каждой из них (рисунок 1). Кроме того, в окне имеется возможность выбора шага дискретизации сигнала и визуализации сигнала на графике (рисунок 1).

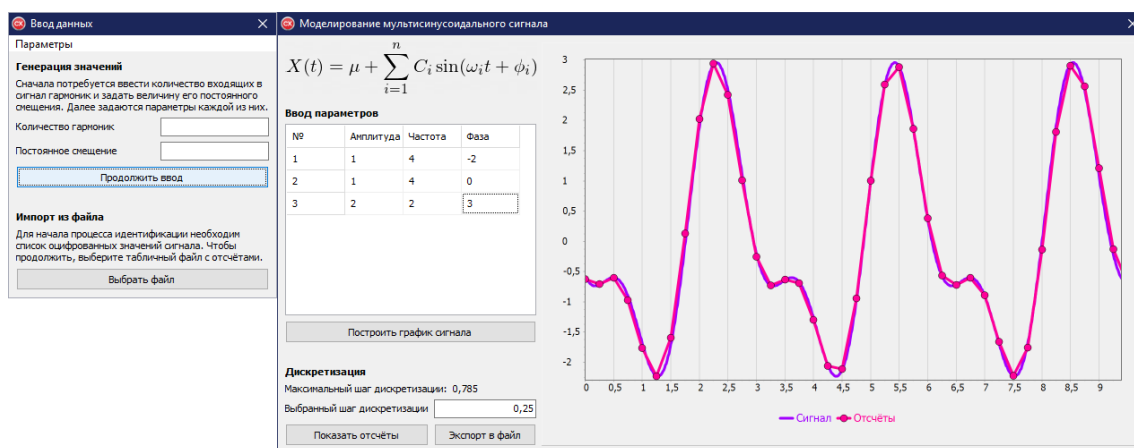


Рисунок 1 - Диалоговые окна «Ввод данных» и «Моделирование мультисинусоидального сигнала»

Данные, введённые пользователем, используются программой только для автоматического формирования списка дискретных значений сигнала и его экспорта в файл, но не используются ни на одном этапе вычислений модели.

На первом этапе вычислений решается задача оценки количества гармоник в сигнале, для чего строится идентифицирующая матрица, вид которой представлен ниже (таблица 1).

Оцифрованные значения сигнала (2) вносятся во вторую строку, причём в частном случае $x(0) = 0$, что происходит при отсутствии у сигнала постоянного смещения и начальных фаз у всех входящих в него гармоник, происходит сдвиг второй строки на один элемент влево, то есть оцифрованные значения сигнала (1) помещаются в неё начиная с $x(t)$.

Последующие строки идентифицирующей матрицы заполняются по рекуррентному соотношению (3):

$$\alpha_{lk} = \frac{\alpha_{l-2,k+1}}{\alpha_{l-2,1}} - \frac{\alpha_{l-1,k+1}}{\alpha_{l-1,1}}. \quad (3)$$

Таблица 1 - Идентифицирующая матрица

1	0	...	0	...
$x(0)$	$x(\Delta t)$...	$x(n\Delta t)$...
α_{31}	α_{32}	...	α_{3k}	...
α_{41}	α_{42}	...	α_{4k}	...
...
0	0	...	0	...

Заполнение идентифицирующей матрицы происходит до появления в ней нулевой строки. Номер этой строки m идентифицирует число гармоник сигнала (2) и характеризует наличие в нём смещения μ .

Если величина $(m - 4)$ кратна четырём, это означает, что в идентифицируемом сигнале присутствует смещение ($\mu \neq 0$), и что сигнал содержит следующее число гармоник (4):

$$n = \frac{m-4}{4}. \quad (4)$$

Если величина $(m - 2)$ кратна четырём, это означает, что в идентифицируемом сигнале смещение отсутствует ($\mu = 0$), а количество гармоник определяется согласно (5):

$$n = \frac{m-2}{4}. \quad (5)$$

В случае, если ни $(m - 4)$, ни $(m - 2)$ не кратны четырём, то идентифицируемый сигнал не может быть представлен в виде (2).

На рисунок 2 представлено диалоговое окно «Расчётная часть», в верхней части которого представлены расчеты идентифицирующей матрицы. На следующем этапе вычислений (рисунок 2) с использованием значений из первого столбца идентифицирующей матрицы строится конечная непрерывная дробь (6), аппроксимирующая дискретную передаточную функцию (ДПФ) искомого сигнала:

$$G(z) = \frac{k}{1 + \frac{\alpha_{31}z^{-1}}{1 + \frac{\alpha_{41}z^{-1}}{\ddots}}} \quad (6)$$

где $k = x(0)$, за исключением частного случая $x(0) = 0$, так как в связи со сдвигом второй строки на один элемент влево $k = x(\Delta t)z^{-1}$.

Сворачивание дроби (6) путём элементарных преобразований позволяет перейти к дробно-рациональному выражению. Вид дробно-рационального выражения в диалоговом окне (рис. 2) представлен коэффициентами при соответствующих степенях числителя и знаменателя (6). Приравнявая его знаменатель нулю, получаем характеристическое уравнение ДПФ, решением которого являются комплексно-сопряжённые корни. Из значения выводятся в левой части диалогового окна на рисунок 2.

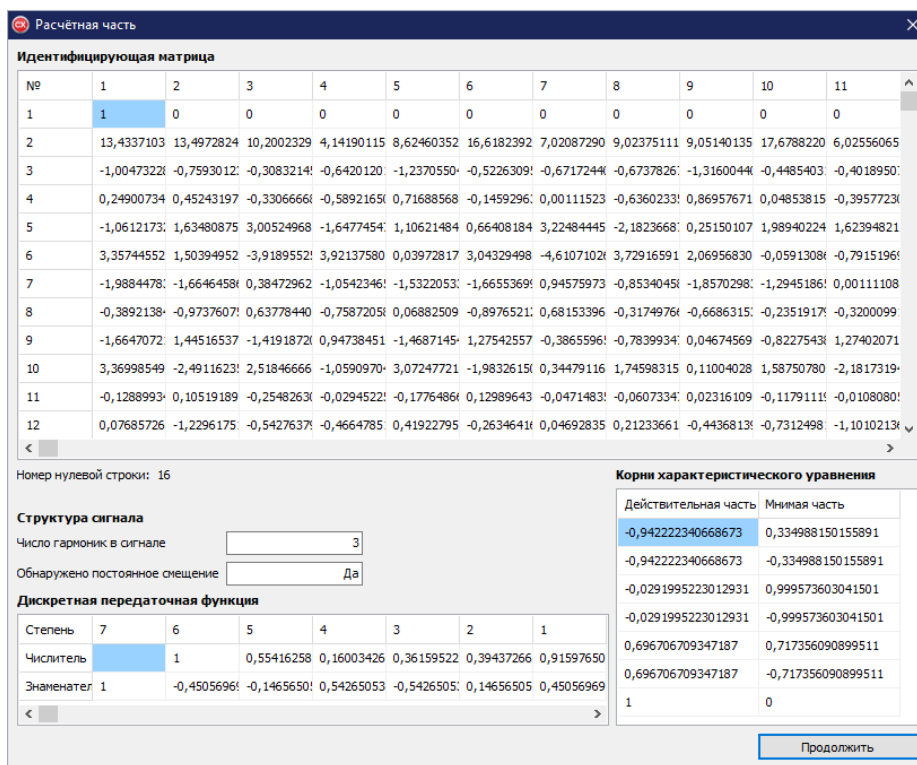


Рисунок 2 - Диалоговое окно «Расчётная часть»

На основе соответствия z - и s -плоскостей, круговые частоты ω_i для сигнала (2) определяются согласно (7):

$$\omega_i = \frac{\arg(z_i)}{\Delta t}, \quad (6)$$

где $z_i = u \pm jv$ – полюса дискретной передаточной функции (6). Кроме того, дополнительный полюс $1 + 0j$ характеризует наличие смещения μ в (2).

Отсутствие комплексно-сопряжённых полюсов у ДПФ сигнала или наличие дополнительных действительных полюсов (помимо $1 + 0j$) означает, что сигнал не может быть представлен в виде (2) и не является мультисинусоидальным.

Для нахождения амплитуд C_i гармоник сигнала (2), запишем его в виде (7):

$$x(k\Delta t) = \mu + \sum_{i=1}^n (A_i \sin(\omega_i k\Delta t) + B_i \cos(\omega_i k\Delta t)) \quad (7)$$

где $A_i = C_i \cos \varphi_i$ и $B_i = C_i \sin \varphi_i$.

Чтобы определить значения постоянного смещения μ и коэффициентов A_i и B_i , требуется решить систему (9), состоящую в общем виде из $2n + 1$ линейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu + \sum_{i=1}^n B_i = x(0) \\ \mu + \sum_{i=1}^n (A_i \sin(\omega_i \Delta t) + B_i \cos(\omega_i \Delta t)) = x(\Delta t) \\ \dots \\ \mu + \sum_{i=1}^n (A_i \sin(2n\omega_i \Delta t) + B_i \cos(2n\omega_i \Delta t)) = x(2n\Delta t) \end{array} \right. \quad (8)$$

В случае отсутствия постоянного смещения ДПФ (6) будет обладать только комплексными полюсами, которые используются для нахождения частот сигнала (2) согласно (6). Для нахождения остальных его параметров будет использоваться аналогичная система линейных уравнений, имеющая порядок $2n$ и не содержащая переменной μ .

На основании полученных в ходе решения (8) коэффициентов A_i и B_i , определяются амплитуды C_i и начальные фазы φ_i согласно (10):

$$\begin{aligned} C_i &= \sqrt{A_i^2 + B_i^2}, \\ \varphi_i &= \arctg \frac{B_i}{A_i}. \end{aligned} \quad (9)$$

В частном случае, когда у сигнала отсутствует постоянное смещение, а начальные фазы всех его гармоник равны нулю, СЛАУ вида (8) в результате применения очевидных тригонометрических преобразований принимает более простой вид (10), содержит лишь n уравнений и позволяет найти амплитуды гармоник напрямую:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i \Delta t) = x(\Delta t) \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n C_i \sin(n\omega_i \Delta t) = x(n\Delta t) \end{array} \right. \quad (10)$$

Результатом работы программы является диалоговое окно «Результаты идентификации» (рисунок 3), где выводится формула сигнала в виде (1) и построенный на её основе непрерывный график мультисинусоидального сигнала. Вывод о верно восстановленной структуре объекта позволяют сделать допустимое совпадение характеристик исходного и восстановленного сигналов, а также погрешность их оценки.

Эмпирический выбор шага дискретизации требует провести его вариацию для проверки соответствия исходного сигнала и полученной модели. Для этого пользователь нажимает в диалоговом окне «Результаты идентификации» на кнопку «Проверка соответствия». Это приводит к повторному вычислению модели по алгоритму, описанному ранее. Если полученные до и после вариации шага дискретизации восстановленные модели сигналов совпадают, то результаты вычислений можно считать удовлетворительными [4]. Вариация шага дискретизации возможна также путём децимации, однако в этом случае принадлежность новой его величины полосе допустимых шагов дискретизации не гарантируется.

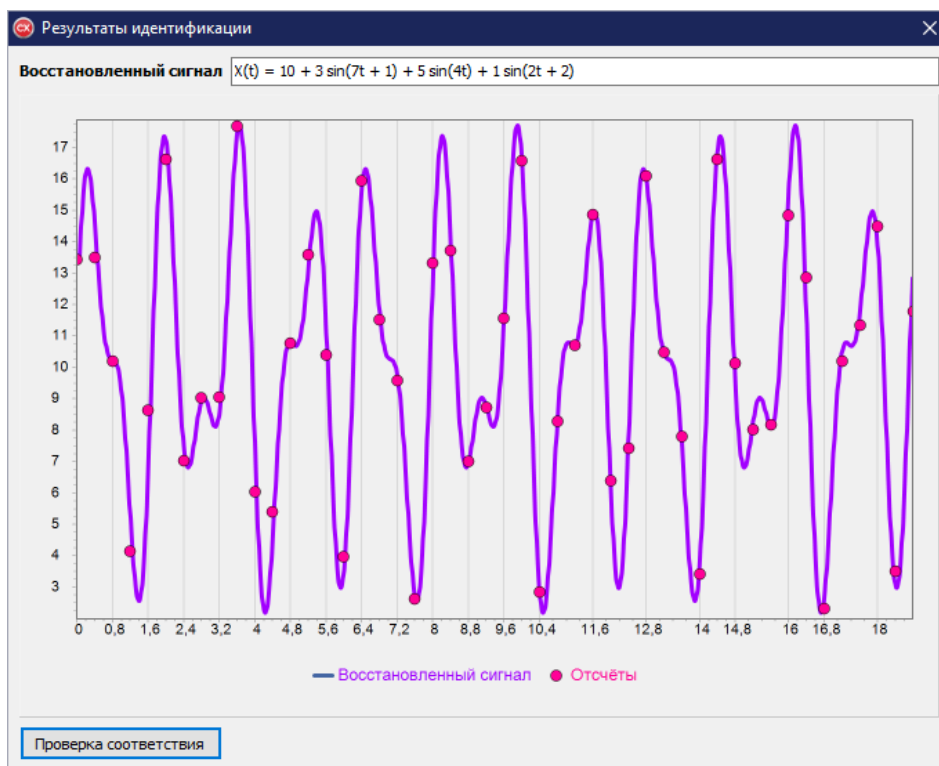


Рисунок 3 - Диалоговое окно «Результаты идентификации»

В ходе работы был использован метод структурно-параметрической идентификации модели мультисинусоидального сигнала на основе аппарата непрерывных дробей, и была подготовлена его программная реализация. Разработанная автоматизированная информационная система в виде программы для ЭВМ «Идентификация мультисинусоидального сигнала на основе аппарата непрерывных дробей» имеет государственную регистрацию [5] и может использоваться при решении разнообразных задач, связанных с анализом сигналов; при проектировании и исследовании цифровых систем контроля, диагностики, управления.

Библиографический список

1. Novoseltseva M.A., Gutova S.G., Kazakevich I. A. Structural and Parametric Identification of a Multisinusoidal Signal Model by Using Continued Fractions // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) – IEEE, 2018. – С. 1–5.
2. C++ Builder: Community Edition – Embarcadero [Электронный ресурс]. // <https://www.embarcadero.com/products/cbuilder/starter>. (Дата обращения: 25.09.2021).
3. Polynomials – GSL 2.7 documentation [Электронный ресурс]. // <https://www.gnu.org/software/gsl/doc/html/poly.html>. (Дата обращения: 25.09.2021).
4. Novoseltseva M. A., Gutova S. G., Kagan E. S. The Influence of Discretization Step on the Accuracy of the Structural-Parametric Identification of Multisinusoidal Signals // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) – IEEE, 2020. – С. 1–5.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660601 Российская Федерация. Идентификация мультисинусоидального сигнала на основе аппарата непрерывных дробей: № 2021619994 : заявл. 29.06.2021 : опубл. 29.06.2021 / И. Ю. Чуриков, С. Г. Гутова, М. А. Новосельцева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет».

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Казанцев М.Е., Попов А.С., Саламатин А.С.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Разработана автоматическая система наведения на космические объекты. Описана ее техническая структура. Приведены принципиальная электрическая схема, спецификация оборудования. Представлены результаты работы данной системы. Описаны дальнейшие планы по развитию системы.

Ключевые слова: автоматическая система наведения, arduino, raspberry PI, автоматизация.

Abstract. An automatic guidance system for space objects has been developed. Its technical structure is described. A circuit diagram and equipment specifications are given. The results of this system are presented. Further plans for system development are described.

Keywords: automatic guidance system, arduino, raspberry PI, automation

Изучение и разработка космических систем является приоритетным направлением развития науки, технологий и техники в Российской Федерации [1]. Одной из актуальных задач в данной сфере является разработка автоматических систем наведения на космические объекты. Подобные установки применяются астрономами для изучения структуры и поведения объекта, в том числе для выдвижения предположений об его образовании, а также для прогнозирования траектории его движения. Для проведения такого рода исследовательских работ существует готовое оборудование, но оно при этом является и дорогостоящим. Поэтому авторами разработан более дешевый аналог.

За основу в качестве прототипа взяты системы наблюдения за космическими объектами, описанные в источниках [2, 3].

Основным элементом конструкции является экваториальная монтировка, на которую будет установлен астрономический инструмент.

Экваториальная (параллактическая) монтировка [4] — устройство для установки телескопа (или другого астрономического инструмента) так, чтобы одна из его осей была параллельна земной оси (и, соответственно, перпендикулярна небесному экватору).

Экваториальная монтировка призвана скомпенсировать вращение земного шара вращением телескопа в плоскости небесного экватора. Достаточно поставить на эту ось (параллельную Земной) механизм, который поворачивал бы телескоп на один оборот за 24 часа в направлении, противоположном вращению нашей планеты. Наблюдаемые в такой телескоп объекты не «убегают» из поля зрения, а возможности астросъёмки значительно расширяются.

Одна из осей вращения телескопа в экваториальной монтировке параллельна оси вращения Земли (и, соответственно, оси мира) и называется осью прямого восхождения или осью R.A. (от англ. Right Ascension – прямое восхождение), или часовой осью, или полярной осью. Именно эта ось позволяет скомпенсировать вращение земного шара. Перпендикулярная ось называется осью склонений, или осью Dec. (от англ. Declination - склонение) и позволяет направлять телескоп от плоскости небесного экватора до объекта наблюдения.

Угол наклона оси прямого восхождения по отношению к поверхности Земли равен географической широте места, в котором установлен телескоп. На географическом полюсе она должна быть направлена перпендикулярно земной поверхности, а на экваторе — параллельно.

С помощью микроконтроллеров и двух двигателей реализована компенсация вращения Земли, чтобы объект не уходил с поля зрения. Объекты солнечной системы также имеют своё движение, следовательно, в каждый момент времени их положение на небе смещается, в отличие от звезд, поэтому для наблюдения за ними будет реализована отдельная скорость компенсации.

После реализации двигательной системы в дальнейшем планируется усовершенствование конструкции путем добавления базы координат звездных объектов, возможности наведения на заданный объект. Для этого также дополнится и сама конструкция устройства посредством добавления датчика ориентации в пространстве и датчика местоположения.

На рисунке 1 представлена техническая структура системы.

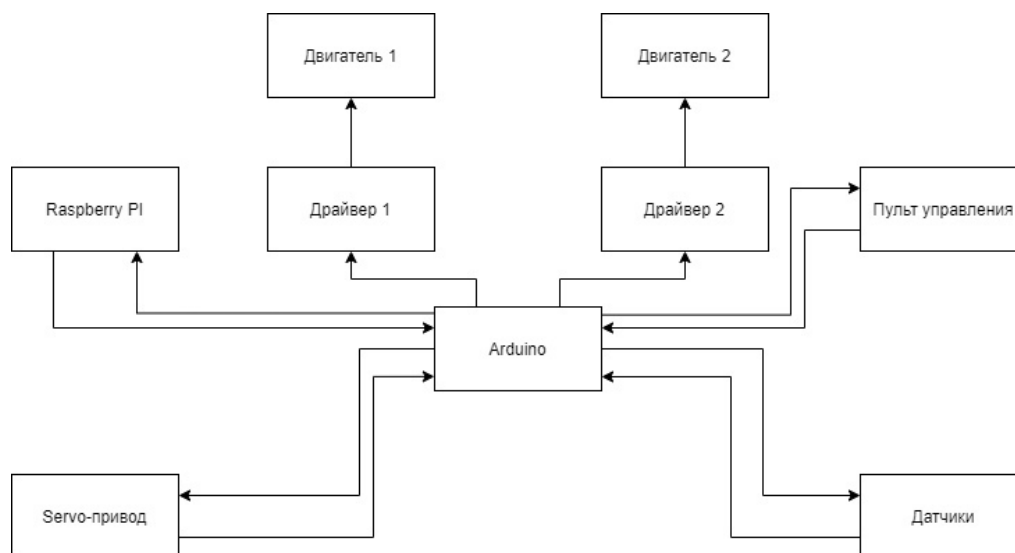


Рисунок 1 – Техническая структура системы

В качестве микроконтроллера, который будет принимать информацию с датчиков и управлять двигателями, выбрана платформа Arduino. Плата Arduino Nano выбрана потому, что она отличается компактностью и встроенным программатором, что позволяет подключаться к контроллеру через сетевой порт. При помощи нее осуществляется управление двигателями и анализ информации, поступающей от датчиков.

Arduino Nano обладает недостаточным объемом памяти для вычисления больших вещественных чисел, поэтому для выполнения данных задач выбрана платформа Raspberry PI.

Для изменения фокусного расстояния применяется серво-двигатель, поскольку для выполнения данной задачи не требуется большой частоты вращения.

Гироскоп-акселерометр необходим для отслеживания положения телескопа в пространстве.

Шаговые двигатели в совокупности с драйвером для их работы обеспечивают основную задачу – наведение телескопа на космические объекты.

В таблице 1 представлена спецификация оборудования. Общая стоимость всех деталей на момент разработки установки составила 14027 рублей.

Таблица 1 – Спецификация оборудования

Номер	Название	Количество, шт.	Цена за шт.
1	Arduino Nano	1	289 р.
2	Servo-двигатель	1	340 р.
3	Гироскоп-акселерометр MPU6050	1	300 р.
4	Модуль «Джойстик»	1	112 р.
5	Драйвер шагового двигателя L298	2	240 р.
6	Шаговый двигатель	2	1298 р.
7	Raspberry Pi 4 Model B 4GB	1	9850 р.
8	Провод НВ-5 0,5мм, 1м	4	15

Также была разработана принципиальная электрическая схема управления для установки (рисунок 2).

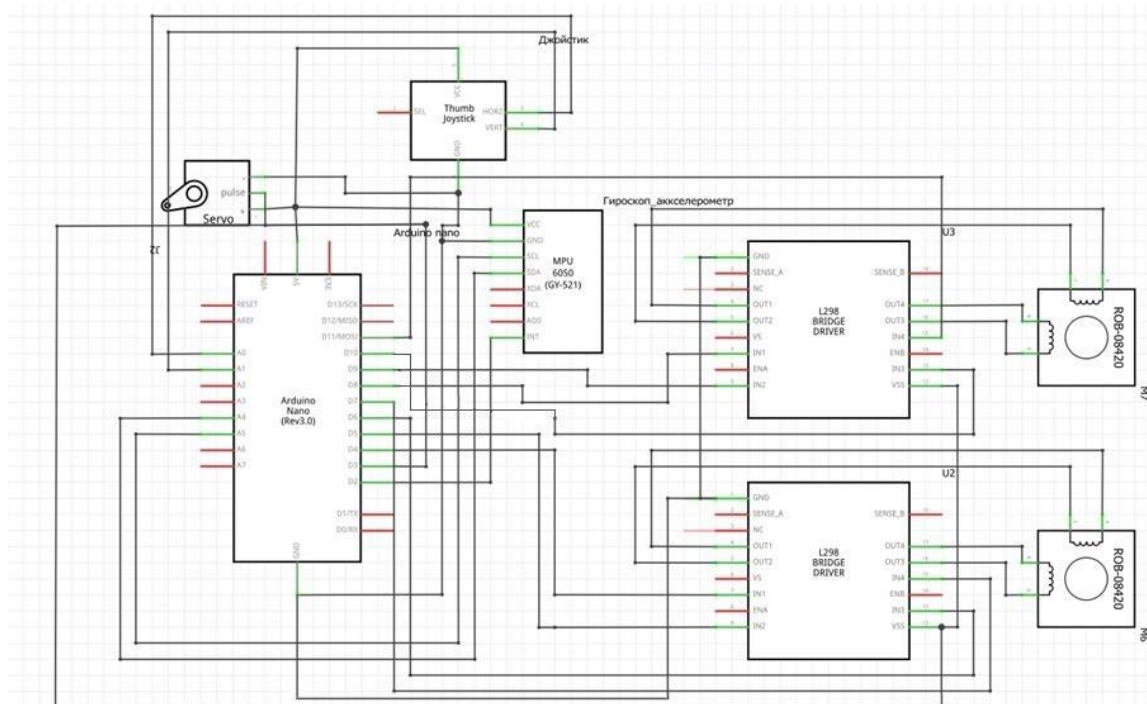


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема управления устройства

После осуществления монтажа и настройки устройства был осуществлен его пробный запуск. В качестве тестовых объектов были выбраны как планеты Сатурн и Юпитер. Съемка велась в течение 5 минут для каждого объекта. На следующем этапе полученные видеозаписи были обработаны нейронной сетью в бесплатной программе Autostakkert [5]. При помощи данного ПО осуществляется разбиение видео на фреймы (кадры), их сортировка по качеству изображения и отбор тех кадров, что имеют очертания космического объекта. Далее, используя первый кадр, распознаются элементы объекта исследования и определяются точки захвата (рисунок 3), по которым осуществляется слежение за движущимся объектом. После этого программа выполняет наложение кадров для улучшения качества изображения. Примеры обработанных изображений представлены на рисунке 4.

Анализируя полученные изображения, сложенные из нескольких изображений через нейронную сеть, можно сделать вывод о том, что данное устройство значительно улучшает качество исследуемого космического объекта, что позволяет проанализировать его текущее состояние и прогнозировать его поведение в будущем.

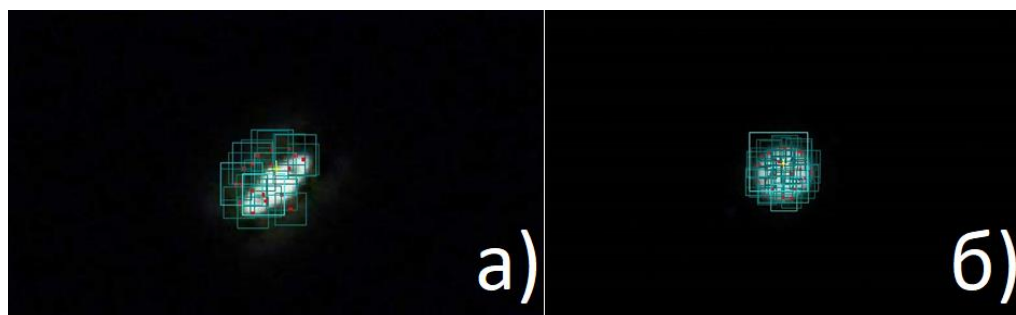


Рисунок 3 – Обработка нейросетью а) Сатурна б) Юпитера

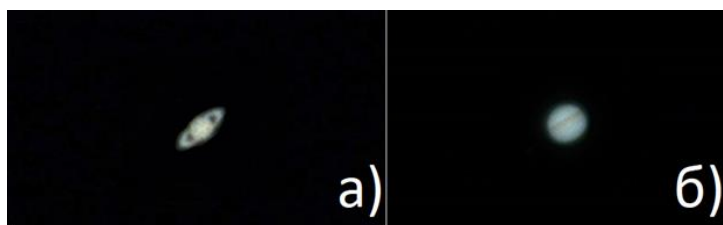


Рисунок 4 – Итоговое изображение а) Сатурна б) Юпитера

Данная конструкция не окончательная. В будущем устройство будет оснащено дополнительными программными и техническими средствами, что позволит телескопу обрабатывать данные о местоположении и пространстве, необходимые для автоматического наведения телескопа на нужные космические объекты.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями).
2. Универсальная система управления телескопом на Arduino [электронный ресурс] // Астрофорум [сайт]. URL: <https://astronomy.ru/forum/index.php/topic,143891.0.html> (дата обращения: 20.04.2021).
3. Описание полезной модели к патенту 82678 Российской Федерации МПК В64G 1/66. Система наблюдения за космическими объектами/ Боровский В.Ф., Кириченко Д.В., Половников В.И. - № 2008136791/22; заявл. 09.09.2008; опубл. 10.05.2009.
4. Экваториальная монтировка [электронный ресурс] // Академик [сайт]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/76990> (дата обращения: 20.04.2021).
5. Программа для обработки изображений [электронный ресурс] // AUTOSTAK KERT! [сайт]. URL: <https://www.autostakkert.com> (дата обращения: 20.04.2021).

ОБНАРУЖЕНИЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ МЕТОДАМИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Караванов А.В., Кириченко В.Н., Михов Е.Д.

Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия

Аннотация. Исследуется проблема выделения существенных переменных в задаче моделирования безынерционных процессов. В статье рассмотрен метод нахождения информативных признаков, который разработан на основании методов непараметрической статистики. Разработанный метод был применен для оценки существенности переменных для различных процессов. В ходе исследований, предложенный метод продемонстрировал эффективность в выделении существенных переменных.

Ключевые слова: существенные переменные, моделирование, непараметрическая оценка функции регрессии.

Abstract. The problem of identifying essential variables in the problem of modeling inertialess processes is investigated. The article discusses a method for finding informative features, which is developed, based on nonparametric statistics methods. The developed method was applied to assess the significance of variables for various processes. In the course of research, the proposed method has been shown to be effective in isolating significant variables.

Keywords: essential variables, modeling, nonparametric estimation of the regression function.

Введение

Идентификация многих стохастических объектов часто сводится к идентификации статических систем. Наиболее общая схема исследуемого процесса может быть представ-

лена на нижеследующем рисунке[1]:

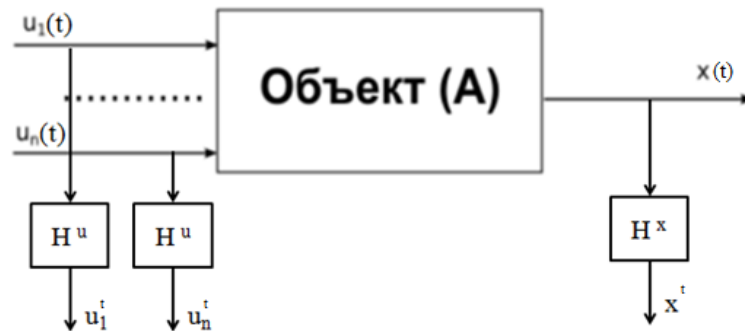


Рисунок 1 - Общая схема исследуемого процесса

На рисунке 1 приняты обозначения: A – неизвестный оператор объекта, $x(t)$ – выходная характеристика процесса, $\vec{u}(t) = (u_1(t), \dots, u_n(t))$ – вектор входных переменных, H^u , H^x – каналы связи, соответствующие различным переменным, $u_1^t \dots u_n^t$ – входные переменные в момент времени t .

При моделировании подобных процессов первоочередная задача состоит в выделении существенных признаков $\vec{u}(t) = (u_1(t), \dots, u_n(t))$, влияющих на $x(t)$, и ранжировании данных признаков по степени влияния. Решение этой задачи позволит отобрать из всего вектора входных переменных те, которые будут впоследствии использованы для решения задачи моделирования.

В настоящее время для определения информативности признаков часто используют корреляцию, с помощью которой возможно определить существенность переменных. При этом такой метод, но не всегда работает, что было продемонстрировано в работе [2]. В связи с этим в настоящее время разрабатываются новые методы выделения существенных переменных или улучшения качества работы существующих методов.

Учитывая все вышесказанное, можно утверждать, что проблема выделения существенных переменных является актуальной.

Создание нового метода для выделения существенных переменных при моделировании безынерционных объектов, может быть применено во многих отраслях промышленности для моделирования процессов или при изучении природных процессов.

Используемый в исследовании метод моделирования

Один из возможных подходов в моделировании предполагает, что на первом этапе, на основании имеющейся априорной информации, определяется параметрический класс оператора объекта A , например:

$$x_\alpha(t) = A^\alpha(u(t), \alpha), \quad (1)$$

где A^α – параметрическая структура модели, α – вектор параметров.

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

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

$$x_s(t) = A_s(u(t), \vec{x}_s, \vec{u}_s), \quad (2)$$

где $\vec{x}_s = (x_1, x_2, \dots, x_s), \vec{u}_s = (u_1, u_2, \dots, u_s)$ – временные векторы. Оценка оператора A_s может быть осуществлена средствами непараметрической статистики.

Для отбора существенных переменных предлагается использовать метод, основанный на непараметрической оценке функции регрессии [3-4].

Непараметрическая оценка функции регрессии

Непараметрическая оценка функции регрессии представляется в виде моделирования при помощи ядерных оценок (3) [5].

$$x_k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \prod_{j=1}^n \hat{\phi} \left(\frac{u_{kj} - u_{ij}}{c_s^j} \right)}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \hat{\phi} \left(\frac{u_{kj} - u_{ij}}{c_s^j} \right)}. \quad (3)$$

В формуле 3 Φ^* – это колоколообразная “сглаживающая” функция, а c_s^j – параметр размытости, переменной u_j . В качестве колоколообразной функции можно принять треугольную функцию (4).

$$\Phi(k) = \begin{cases} 1 - |k|, & |k| < 1 \\ 0, & k > 1 \end{cases} \quad (4)$$

От выбранного параметра размытости, зависит качество построенной модели. Данный параметр определяет степень участия элементов выборки в вычислении оценки выходной характеристики процесса в точке u_m (рисунок 2).

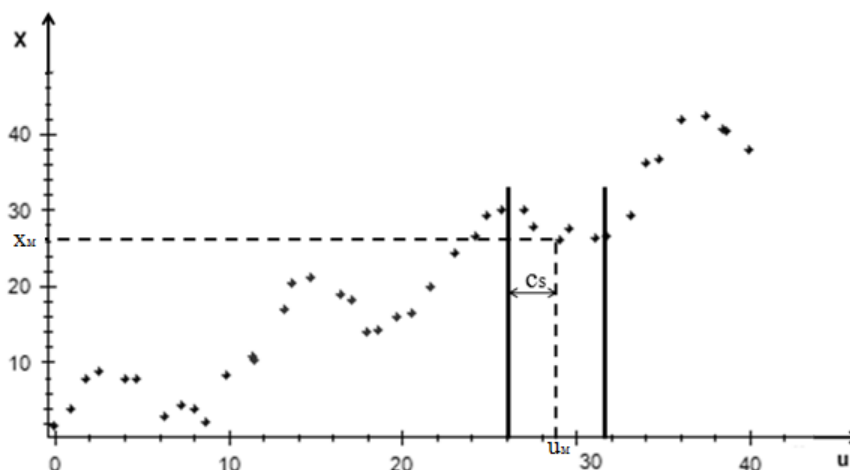


Рисунок 2 - Определение параметра размытости

Предлагаемый метод выделения существенных переменных

Априори исследователю неизвестна структура объекта и степень влияния каждого входного воздействия на выходную характеристику.

Предлагаемый метод выделяет из всего набора существующих переменных наиболее существенные. Опишем рассматриваемый метод

Как видно из формулы (3) каждому входному воздействию соответствует свой параметр размытости. На основании имеющийся обучающей выборки необходимо найти оптимальные $c_{s1}, c_{s2}, \dots, c_{sn}$ из условия минимума.

$$\sigma(\vec{c}_s) = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{k=1}^s (x_s(u_k, c_s) - x_k)^2} \rightarrow \min, k \neq i. \quad (5)$$

После нахождения вектора \bar{c}_s , необходимо произвести сортировку элементов вектора \bar{c}_s от наименьшего по модулю к наибольшему по модулю. Таким образом, получится цепочка неравенств. Цепочка неравенств, например, может иметь следующий вид: $|c_{s1}| < |c_{s3}| < |c_{s10}| < \dots < |c_{s12}| < |c_{s2}|$, тот компонент вектора u у которого соответствующий элемент вектора \bar{c}_s оказался наибольшим, является кандидатом на исключение из непараметрической оценки, как наименее существенный. [3-4]

Компонента вектора u , для которой параметр размытости окажется максимальным, оказывает наименьшее влияние на значение $\hat{x}_{(s)}(u)$, т. е. ее «вклад» в $\hat{x}_{(s)}(u)$ – минимальный. Это и предполагает, что она является несущественной для рассматриваемой задачи моделирования.

Отличием предлагаемого подхода от ранее разработанного является то, что в прошлом подходе после исключения переменной процедура оптимизации параметров размытости производилась заново. В процессе исследований было подтверждено, что оптимизацию \bar{c}_s можно производить единожды и по результатам оптимизации уже отбирать существующие переменные.

Очевидно, что важной частью работы данного алгоритма является настройка и оптимизация коэффициентов размытости для минимизации ошибки моделирования.

Принимая во внимание прошлые исследования [6], было решено использовать для оптимизации вектора параметров размытости алгоритм Недлера — Мида (метод деформируемого многогранника).

Вычислительные эксперименты

Для начала было проведено моделирование, процесса, который имеет не только информативные и не информативные признаки, но и информативность признаков была различная. Иными словами, каждый признак имеет свой коэффициент влияния на выходную характеристику.

Моделируемый процесс, представлен следующей формулой:

$$x(\bar{u}) = u_1 * 4 + u_2 * 3 + u_3 * 2 + u_4 * 1 + u_5 * 0 \quad (6)$$

Как мы можем здесь увидеть, наибольшее влияние на процесс оказывает u_1 наименьшее влияние u_4 , а u_5 не оказывает никакого влияния вообще. Безусловно, при моделировании этого процесса и при оптимизации вектора параметров размытости, нашему алгоритму не известна формула, представляющая данный процесс, дана только обучающая выборка. В рассматриваемом эксперименте размер обучающей выборки равен 2000.

Обучающая выборка была сгенерирована следующим образом:

$$\begin{aligned} (\bar{u}_i, x_i), i = \overline{1, 2000}, \\ u_1^i \dots u_5^i \in (1, 3), \quad , \\ x_i = x(\bar{u}_i) + \xi(t), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\xi(t)$ – помеховое воздействие. В эксперименте помеховое воздействие $\xi(t)$ было принято равным 5%.

Ниже представлены результаты оптимизации вектора параметров размытости для моделирования процесса, который представлен формулой (7).

$$(c_5 = 2.39) < (c_4 = 0.34) < (c_3 = 0.31) < (c_2 = 0.27) < (c_1 = 0.19)$$

Как и предлагалось, эксперимент показал, что чем меньше степень влияния на исходную характеристику, тем больше соответствующий параметр размытости после оптимизации. После оптимизации параметры размытости отсортированы согласно реальному распределению по уровню важности для моделирования. Это подтверждает предположение, что последующую оптимизацию в данном случае производить не нужно. Также ин-

терес представляет параметр размытости, который относится к переменной u_5 . u_5 не влияет на выходную характеристику процесса, соответственно и c_5 оказалось самым большим, резко отличающимся от тех, которые имеют влияние на выходную характеристику процесса.

Продемонстрируем результаты оптимизации в процессе, у которого два входных воздействия не влияют на выходную характеристику.

Моделируемый процесс, представлен следующей формулой:

$$x(\vec{u}) = u_1 * 0 + u_2 * 3 + u_3 * 2 + u_4 * 1 + u_5 * 0 \quad (8)$$

Ниже представлены результаты оптимизации вектора параметров размытости для моделирования процесса описываемым формулой (8). Обучающая выборка также формировалась в соответствии с правилами, описанными в (7).

$$(c_5 = 2.37) < (c_1 = 1.85) < (c_4 = 0.26) < (c_3 = 0.23) < (c_2 = 0.19)$$

Как видно из результатов оптимизации, когда входное воздействие не влияет на выходную характеристику коэффициент размытости большой, в сравнении с остальными, что позволяет нам применить данный метод для определения информативности признаков в объекте любой размерности, и сразу получать результат.

В конце рассмотрим случай, когда у моделируемого процесса имеется стохастическая зависимость между входными переменными.

Пусть моделируемый процесс, может быть описан следующей формулой:

$$x(\vec{u}) = u_1 * 4 + u_2 * 3 + u_3 * 2 + u_4 * 1 + u_5 * 0 \quad (9)$$

при этом $u_1 = u_2 * 2 + \xi_u(t)$, иными словами в формуле (9) u_2 может быть заменен на u_1 и наоборот. Для задачи моделирования — это значит, что одна из двух переменных u_2 или u_1 будет не нужна для моделирования рассмотренного процесса, так как её может заменить вторая.

Ниже представлен результат оптимизации вектора параметров размытости для моделирования процесса описываемым формулой (9). Обучающая выборка также формировалась в соответствии с правилами, описанными в (7).

$$(c_2 = 1.61) < (c_5 = 1.18) < (c_4 = 0.67) < (c_3 = 0.33) < (c_1 = 0.16).$$

По представленным результатам оптимизации, видно, что разработанный метод посчитал, что u_2 - неинформативный признак. Также он ожидаемо отметил как неинформативный признак u_5 .

Во всех продемонстрированных случаях не требовалось производить дополнительные настройки вектора параметров размытости. Это подтверждает, что по крайней мере для некоторых задач это не является обязательным.

Результаты

Был предложен метод для оценивания существенности переменных моделируемого процесса. В конце были представлены результаты использования данного метода, которые доказывают его эффективность. Были представлены результаты выделения существенных переменных для процессов с зависимыми входными переменными.

Данный метод выделения переменных позволяет уменьшить ошибки моделирования. Исследования могут быть применены в задаче распознавания воздушных объектов в радиолокации, в системах классификации, основанных на методах интеллектуального анализа, а также при разработке систем сбора и обработки информации, поступающей от спутниковых систем связи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в ходе реализации комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства земных станций перспективных систем спутниковой связи для обеспечения связанности труднодоступных, северных и Арктических тер-

риторий Российской Федерации», осуществляемого при участии Сибирского федерального университета (соглашение № 075-11-2019-078 от 13/12/2019).

Библиографический список

1. Советов Б.Я, Яковлев С.А.; Моделирование систем: учебник для вузов, Москва: Высшая школа, 2001, 343 с.
2. Француз А.Г.; О влиянии корреляции между признаками на информативность для распознавания образов, Известия Академии наук СССР. Серия Техническая Кибернетика, 1964, № 4, с. 68-77.
3. Медведев А.В. Анализ данных в задаче идентификации // Компьютерный анализ данных моделирования. Т.2.- Минск: БГУ, 1995, с. 201-206.
4. Михов Е.Д. Алгоритм выделения существенных переменных при помощи оптимизации вектора cs / Михов Е.Д. // Решетневские чтения. 2016. Т. 2. № 20. С. 71-73.
5. Цыпкин Я.З.; Адаптация и обучение в автоматических системах, Наука, 1968г., 400с.
6. Михов Е.Д. Оптимизация коэффициента размытости ядра в непараметрическом моделировании / Михов Е.Д. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2015. Т. 16. № 2. С. 338-342.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ API НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НОМЕНКЛАТУРОЙ ТОВАРОВ С ПОМОЩЬЮ GRAPHQL

Стрелков А.В., Истомина А.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия, andrey_strelkov@mail.ru

Аннотация. В результате работы изучены способы взаимодействия программ между собой на примере использования технологии GraphQL при программировании на C# и её применимости при построении современных информационных систем. Описаны нюансы работы с языком запросов, представлены результаты обращения к базе данных при формировании номенклатурных позиций. Проанализирована структура данных ответа и её влияние на коммутационную сеть.

Ключевые слова: программное обеспечение, взаимодействие программ, API, микросервисы, GraphQL, схема, архитектура, запрос

Abstract. As a result of the work, the methods of interaction of programs with each other were studied on the example of the use of GraphQL technology in programming in C # and its applicability in the construction of modern information systems. The nuances of working with the query language are described, the results of accessing the database when forming nomenclature items are presented. The structure of the response data and its influence on the switching network are analyzed.

Keywords: software, program interaction, API, microservices, GraphQL, scheme, architecture, request

Цифровой мир стремительно захватывает абсолютно все сферы жизнедеятельности человечества. Компьютеры и роботы стали делать за человека тяжелую рутинную работу на предприятиях, выполняя это быстрее и точнее. На производстве так же вводятся новые технологии для более качественного анализа и управления предприятием, однако встречаются проблемы, связанные с различными причинами. И при проектировании архитектуры будущей системы встает вопрос: какой она должна быть, чтобы в дальнейшем было проще добавлять новые сервисы? Ведь велика вероятность ошибки ввиду разнородности одной функции от другой.

Решением этой проблемы является создание программного обеспечения в виде набора сервисов, каждый из которых является независимым, но в то же время имеет возможность обмениваться информацией с другими звеньями системы.

Список опций, которые выполняет программное обеспечение, полностью зависит от разработчика, и может представлять процесс, данные для выполнения задач после обработки информации.

Такой подход позволяет делать программы надежнее. Инкапсуляция в целом заметно упрощает жизнь разработчиков. Отдельные компоненты приложений становятся абстракциями. Создателям нового ПО не приходится лезть в логику низкоуровневых функций и разбираться в их реализации.

Помимо этого, если система предоставляет API, обычно проще вызвать его, чем делать то же самое через графический интерфейс. Тем более что вызов API можно сохранить. Например, нам необходимо внести в заказ данные о товаре: его тип, цену, описание и поставщика. Что бы не заполнять данные вручную на графическом интерфейсе, можно один раз создать запрос автоматического заполнения данных: прописать подходящие параметры и пользоваться неограниченное количество раз, не тратя минуту на ввод данных из клавиатуры. В таком случае нам необходимо будет лишь раз нажать кнопку отправки, вместо ручного ввода информации.

Существует несколько разновидностей построения API. Основными являются RPC, SOAP, GraphQL и REST. RPC является самым первым шаблоном подобного рода, используя всего два метода GET и POST, однако RPC нет никакого способа интроспектировать API или отправить запрос и начать понимать, какую функцию вызывать на основе его запросов. В свою очередь SOAP вынуждает использование XML формата; несмотря на то, что данный API независим от платформы и системы, а также имеет встроенную обработку ошибок, он поддерживает только формат XML и несет в себе большое количество метаданных, что влияет на размер таких сервисов.

На данный момент основным подходом при создании систем, построенных на микросервисах является REST API. Данные передаются по протоколу HTTP и приложение предоставляет доступ к информации по определенному URL. Здесь существуют четыре основных метода взаимодействия с данными: GET (получить) – метод чтения информации; POST (добавить, заменить); PUT (добавить, изменить, удалить); DELETE (удалить).

Если нам необходимо добавить новый товар или уже изменить существующий, в целом запрос будет выглядеть просто:

- GET /item/ — получить список всех товаров
- GET /item/3/ — получить товар номер 3
- PUT / item / — добавить товар
- POST /item/6 – изменить товар номер 6
- DELETE / item /12 – удалить товар номер 12

Однако за этой простотой скрываются свои минусы. Если мы хотим взаимодействовать с сервисом, отвечающим за клиентов, то нам необходима новая «конечная точка». И так будет происходить каждый раз, когда мы будем добавлять новый микросервис для своей системы. Это накладывает сложности при создании и сопровождении, а также увеличивает время разработки, и, следовательно, стоимость.

Одним из альтернативных способов построение микросервисной архитектуры является использование GraphQL. GraphQL — это язык запросов и манипулирования данными для API, а также среда для выполнения этих запросов.

То, что он был создан именно в Facebook для проекта с большим объемом разнородных данных, говорит о том, что при работе над подобным продуктом могут возникать ситуации с ограничениями REST-архитектуры. Например, получение информации о описании товара, его количества на складе или доступность для заказа может находиться в разных базах данных, то становится понятно, что для этого необходимо будет составить несколько REST endpoint'ов. А если насколько велик объем данных и их разнородность, становится понятно о причинах создания нового подхода к API.



Рисунок 1 – Использование нескольких точек входа

В свою очередь GraphQL предполагает объединения нескольких конечных точек в одну «умную», которая может справляться со сложными запросами и отдавать информацию именно в том объеме и в том виде, которую запрашивает пользователь.

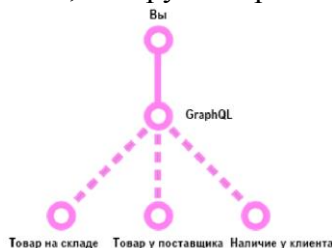


Рисунок 2 – Использование одной точки входа

Данная технология имеет следующие преимущества по сравнению с традиционным подходом:

- GraphQL — сильно типизированный язык, что позволяет заранее оценить правильность запроса до этапа выполнения программы;
- GraphQL предоставляет возможность комбинировать запросы;
- Запросы к GraphQL API всегда возвращают ожидаемый результат, который соответствует схеме данных этого GraphQL API;
- Использование GraphQL позволяет уменьшить количество данных, передаваемых клиенту, так как клиент запрашивает только необходимые ему данные. На практике GraphQL API построен на двух основных строительных блоках: на схеме и запросах.

Уровень GraphQL, написанный на любом языке программирования, содержит схему на подобии графа или диаграммы связей, из которой клиенты узнают о возможностях сервиса. Вот что является графом такой модели в GraphQL при построении системы формирования номенклатурных позиций на металлургическом предприятии:

```

type Steelgrade {
  id : ID
  name : String
  Heating time : Decimal
}
type SteelGroup {
  id : ID
  GroupName : String
  name : String
  consumption : decimal
}
type Mill {
  id : ID
  name : String
  rollingType : String
  rollingSpeed : String
  Bmin : Decimal
  Bmax : Decimal
  Hmin : Decimal
  Hmax : Decimal
}
type GroupMill {
  id : ID
  millId : Mill
  steelGroupId : SteelGroup
  GroupName : String
  name : String
  consumption : decimal
}
type Calculation {
  id : ID
  position : int
  weight : decimal
  timetoproduction : decimal
  direction : String
}
type Position {
  id : ID
  steelGroupId : steelGroupId
  position : PositionNumber
  blankName : String
  Bmin : Decimal
  Bmax : Decimal
  Hmin : Decimal
  Hmax : Decimal
}
type TechnicalMap {
  id : ID
  Mill : millId
  GroupMill : steelGroupId
  consumption : decimal
}
  
```

Рисунок 3 – Граф модели формирования номенклатурных позиций

Запросы на языке GraphQL являются запросами данных – query. Составим запрос сперва традиционным методом, а затем с использованием GraphQL. Представим, что необходимо получить информацию о позиции, названии заготовки, а также названии группы марки стали. Если использовать REST API, то при запросе вида «GET /position/id» нам вернется абсолютно вся информация о позиции, которая является лишней. Здесь присутствуют лишние данные, которые нас абсолютно не интересуют. Эта информация только увеличивает нагрузку на сеть и не является полезной в данном случае. А для того, чтобы получить название группы марки стали, необходимо делать ещё один запрос «GET /SteelGroup/3». Даже в таком случае мы получим, помимо названия, лишнюю информацию о расходном коэффициенте.

```

{
  "data": {
    "Positions": [
      {
        "id": 3;
        "steelGroup": 2
        "position": "Центр";
        "blankName": "Двутавр"
        "Bmin": 0.12
        "Bmax": 2.2
        "Hmin": 0.16
        "Hmax": 1.22
      }
    ]
  }
}

```

```

{
  "data": {
    "SteelGroup": [
      {
        "id": 3
        "GroupName": "Углеродистые"
        "name": "09Г2С"
        "consumption": 2.4
      }
    ]
  }
}

```

Рисунок 4 – Ответ после традиционного API запроса

Однако, при использовании GraphQL, необходимо в запросах указывать только те поля, которые необходимо получить. Плюс, такой запрос выглядит намного лаконичнее и понятнее для программиста, чем традиционный подход. В схеме был описан полный набор данных, который можно достать, а в запросе – лишь та информация, которая нас интересует.

Так же мы можем делать несколько уровней вложенности и передавать в них параметры. Уровней может быть сколько угодно, как и переменных, которые мы передаем. В случае REST нам бы пришлось писать несколько запросов, в каждом из которых будет передаваться переменные разного рода вложенности. Это ускоряет процесс разработки и уменьшает нагрузку на коммутационную сеть.

```

query getPosition($id: ID) {
  Position(id: $id) {
    id
    position
    blankName
    steelGroup {
      GroupName
    }
  }
}

```

```

{
  "data": {
    "Positions": [
      {
        "id": 3;
        "position": "Центр";
        "blankName": "Двутавр"
        "SteelGroup": {
          "GroupName": "Углеродистые"
        }
      }
    ]
  }
}

```

Рисунок 5 – Составление запроса с использованием GraphQL

Такой запрос меньше и лаконичнее, и так же позволяет передавать переменные как статические, так и динамические. В результате ответ содержит только ту часть информации, которая была указана при запросе. Таким образом, несколько конечных точек объединились в одну, благодаря чему необходимость во втором запросе для получения названия группы марки стали отпала. Информация представлена в том же виде, в котором и была запрошена – ещё одна отличительная сторона GraphQL для восприятия информации.

Именно эта особенность данной технологии позволяет уменьшить нагрузку на коммутационную сеть и получать информацию именно в том количестве, в котором она запрашивается, в результате снижения количества запросов. В REST каждый запрос обычно вызывает ровно одну функцию-обработчик маршрута. В GraphQL один запрос может вызвать множество функций для построения сложного ответа с множеством вложенных ресурсов.

В результате повысилась работоспособность системы по следующим причинам. Интерфейс к существующей базе данных накладывал ограничения на возможности её использования. При больших объемах передаваемой информации коммутационная сеть не справлялась, вследствие чего происходили задержки доставки информации. Теперь же несмотря на увеличение сложности запроса, данные передаются именно в том количестве, которое запрашивает пользователь или другой сервис.

Структура данных, которая приходит в качестве ответа, практически ничем не отличается от запроса, что делает анализ проще и быстрее. В итоге масштабировать данную систему легче, так как для добавления новых функций мы не создаем новых конечных точек, мы лишь добавляем новый метод и описываем в нем что необходимо получить.

Библиографический список

1. GraphQL: язык запросов для современных веб-приложений / Алекс Бэнкс, Ева Порсело, Питер Спб, 2019, - 240 с.
2. REST API Design Rulebook / Mark Masse, O REILLY 2011. - 210 с.
3. The Road to GraphQL / Robin Wieruch, INDEPENDENTLY PUBLISHED 2018, - 354 с.
4. GraphQL API Design / Matthias Biehl, CreateSpace Independent Publishing Platform 2018, - 100 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ИСХОДНОГО АУСТЕНИТА ЗЕРНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ EBSD

Демьяненко Е.О., Истомина А.С., Карабаналов М.С., Корниенко О.Ю.

Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия, egor.demyanenko2000@mail.ru

Аннотация. В ходе данной работы разработано программное обеспечение для анализа и ускоренной обработки EBSD данных. Изучен фреймворк для работы с вычислительными мощностями графического процессора (OpenCL), представлены особенности работы с ним. Проведено тестирование разработанного программного обеспечения на различных вариантах EBSD данных.

Ключевые слова: программное обеспечение, микроструктура, зерна, EBSD, OpenCL, GPU, WPF.

Abstract. In the course of this work, software was developed for the analysis and accelerated processing of EBSD data. The framework for working with the computing power of the graphics processor (OpenCL), modern features of working with it has been studied. The developed software was tested on various versions of EBSD data

Keywords: software, microstructure, grain, EBSD, OpenCL, GPU, WPF.

Electron Backscatter Diffraction (EBSD) [1] – дополнительный метод определения параметров в сканирующем электронном микроскопе.

Этот метод позволяет определить ориентировки индивидуальных зерен, локальную

текстуру, а также идентифицировать фазы на поверхности объемных поликристаллов.

Вся эта информация необходима для анализа и правильной обработки данных о микроструктуре.

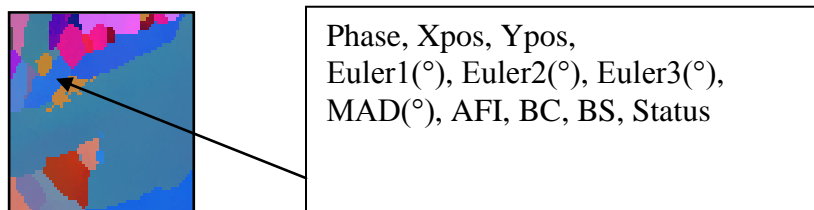


Рисунок 1 – Структура EBSD данных

Так как, по существу, EBSD данные представляют из себя набор многомерных точек (рисунок 1), то целесообразно использовать для их обработки именно графический процессор в качестве основной вычислительной мощности.

Для работы с графическим процессором был выбран фреймворк OpenCL, а именно библиотека-обёртка под OpenCL – Cloo.dll. Были также рассмотрены такие варианты как OpenGL и CUDA, но они оказались более узконаправленными.

OpenCL (Open Computing Language) – открытый, бесплатный стандарт кроссплатформенного параллельного программирования [2].

OpenCL основан на стандарте языка программирования Си C99.

В силу кроссплатформенности код OpenCL пишется в строковую переменную или текстовый файл, а затем компилируется под установленное на данном компьютере устройство. Основными рабочими единицами в OpenCL являются work units, своего рода функции, выполняющиеся для каждой «точки» входных данных. Код исполняемый каждым work unit-ом пишется в kernel.

В общем случае, чтобы воспользоваться вычислительными мощностями GPU при помощи OpenCL, нужно сформировать некоторый массив данных (одномерный, двумерный, трехмерный и т.п), передать его в глобальную память устройства и запустить соответствующий kernel. После выполнения всех задач, данные, сформированные на стороне устройства, передаются обратно на CPU, и именно эта передача (в прямом и в обратном направлении) оказывает существенное влияние на производительность системы.

В начале разработки были выделены основные требования пользователя к программному обеспечению.

Пользователь должен иметь возможность:

- загружать новые варианты EBSD данных в (.xlsx) формате;
- просматривать загруженные данные на главном изображении;
- изменять вид изображения;
- масштабировать и перемещаться по изображению;
- определять границы;
- включать/отключать отображение границ;
- визуально наблюдать ориентацию любой точки изображения;
- определять зёрна;
- просматривать полученные зёрна в табличном виде, а также фильтровать и выделять их на изображении;
- просматривать статистику по зёрнам в графическом виде.

Архитектура ПО (рисунок 2) базируется на пользовательском интерфейсе (WPF), вызывающего функции математической библиотеки, использующей вычислительные мощности графического процессора (GPU).

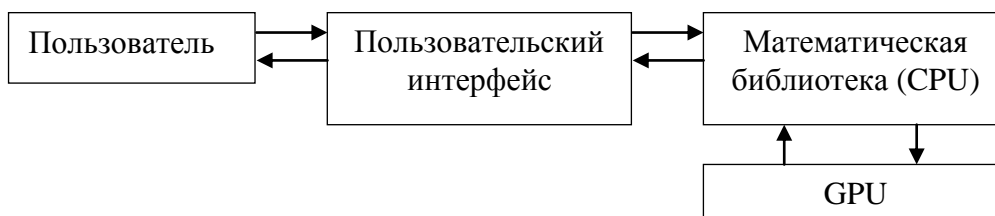


Рисунок 2 – Архитектура ПО

Для работы математической библиотеки были созданы следующие структуры:

Analyzer_Data – для хранения текущих данных необходимых для анализа, а также промежуточных расчетных данных:

- EBSD_Point – для описания многомерной точки;
- Color – чтобы не использовать лишние библиотеки;
- Euler – для описания тройки углов Эйлера;
- Grain – для описания зерна (площадь, фаза, границы).

Экземпляры структуры Analyzer_Data в процессе работы программы сохраняются в формате Json.

В математической библиотеке существует класс Analyzer – главный класс, в котором и реализованы все функции. Схематичное изображение функций, без подробностей реализации представлены на рисунке 3.

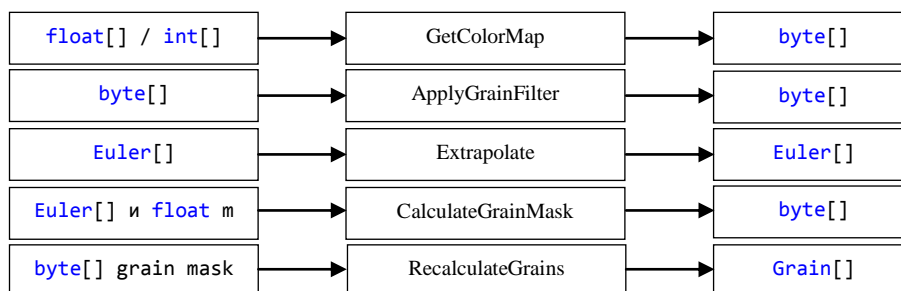


Рисунок 3 – Схематичное изображение функций

Пользовательский интерфейс ПО (рисунок 4) разделён на 3 зоны:

- Зона главного изображения;
- Функциональная зона;
- Зона загрузки и открытия новых файлов.

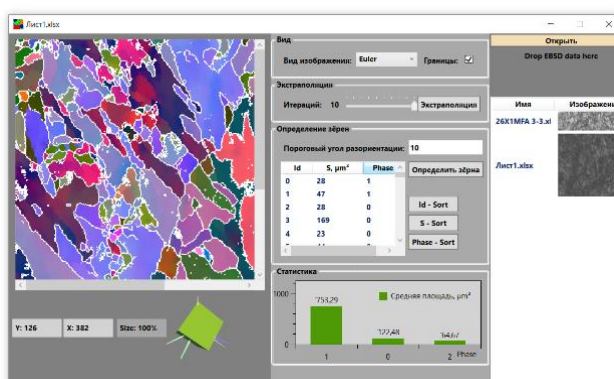


Рисунок 4 – Интерфейс программного обеспечения

Загруженные файлы сразу же отображаются на главном изображении. Перемещение по изображению осуществляется при помощи полос прокрутки. Масштабировать изображение пользователь может при помощи колёсика мыши. Под изображением отображаются координаты точки, а также трёхмерный куб, показывающий её ориентацию.

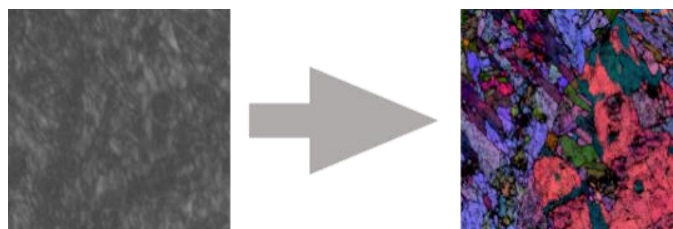


Рисунок 5 – Изменение вида изображения

После загрузки файла в приложение, пользователь имеет возможность изменить вид главного изображения [3] (рисунок 5). Для этого достаточно выбрать необходимый вариант из выплывающего списка.

Для включения отображения границ их нужно сначала определить, используя кнопку определения зёрен. После этого границы будут отображаться если поставлена галочка (рисунок 6).

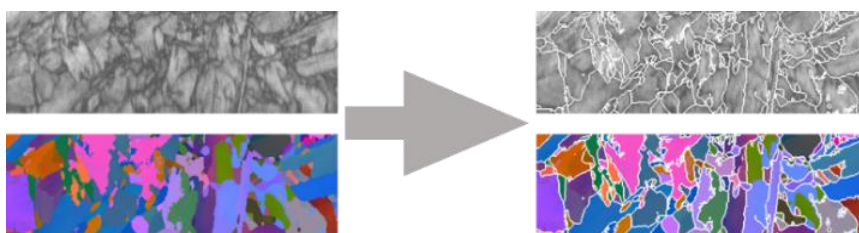


Рисунок 6 – Отображение границ зерен

Для определения зёрен необходима полная информация о границах, которую нужно предварительно получить с помощью предыдущей функции. После определения зёрен вся информация о них отображается в таблице, которую можно сортировать по любому из 3-х параметров. При клике по строке таблицы выделяется соответствующее зерно на изображении и наоборот.

Для определения зёрен был использован алгоритм FloodFill (рисунок 7).

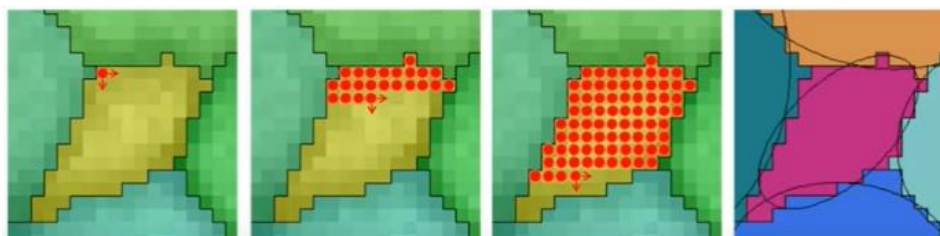


Рисунок 7 – Алгоритм определения зерен

Если в данных присутствует множество неопределённых точек, то полную информацию о границах получить нельзя. В таком случае на помощь приходит экстраполяция [1] (рисунок 8).

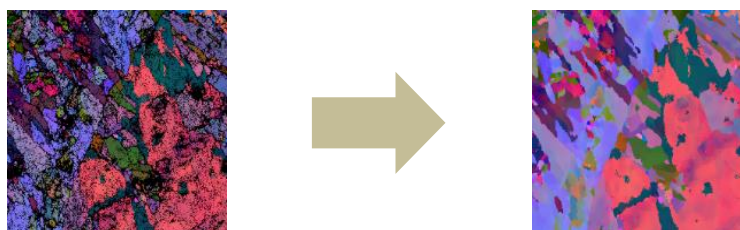


Рисунок 8 – Работа функции экстраполяции

В качестве статистики (рисунок 9) было решено предоставлять пользователю информацию о среднем размере зёрен каждой фазы.

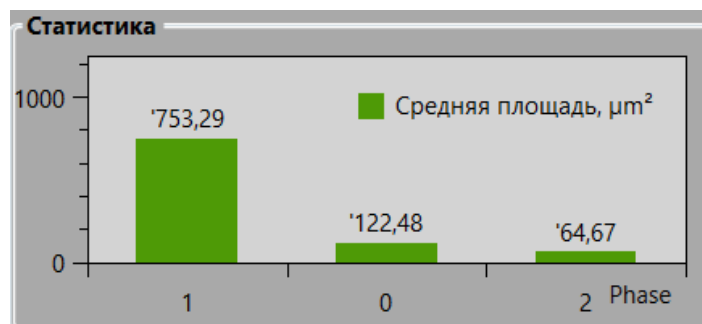


Рисунок 9 – Статистика

Далее были рассмотрены два варианта данных в качестве примера.

Первый вариант данных, состоящий из 65 тысяч точек, был загружен приблизительно за 1.5 секунды. После загрузки используется функция GetColorMap.

Сменим вид изображения на “Euler”, установим пороговый угол разориентации на 10 градусов, определим зёрна и включим отображение границ. Внешний вид приложения после этих операций представлен на рисунке 10.

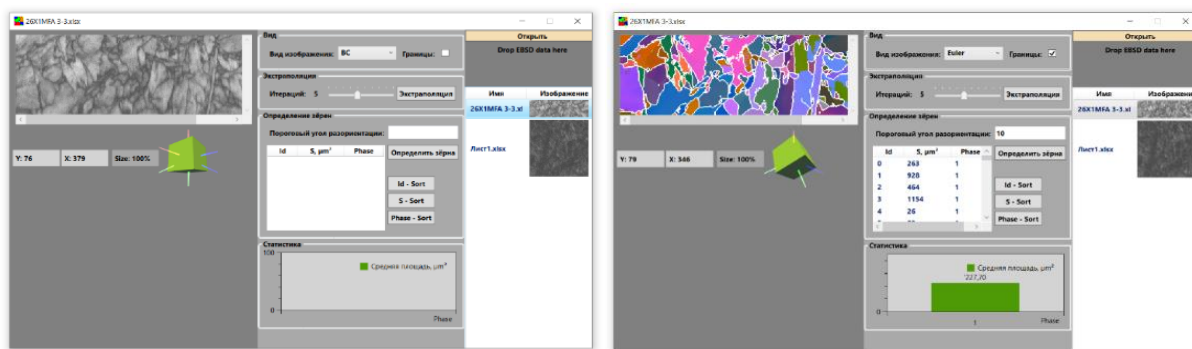


Рисунок 10 – Первый вариант данных до (слева) и после (справа) использования функций математической библиотеки

Масштабируем изображение при помощи колёсика мыши и попытаемся выделить зерно (рисунок 11).

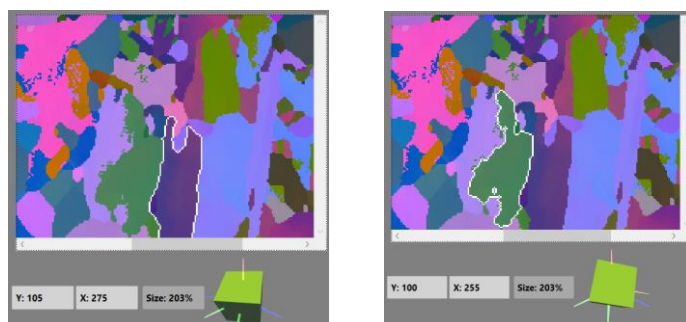


Рисунок 11 – Выделение зёрен

Можно отметить что зёрна выделяются корректно, а также меняется ориентация трёхмерного куба, по которому невооруженным взглядом видна разница в ориентациях более 10 градусов.

Что же касается фазовой статистики, данный вариант исходных данных состоит только из фазы 1 и средняя площадь зёрен этой фазы $227,7 \mu\text{m}^2$. Здесь существует проблема, связанная с тем, что мелкие зерна, определяемые алгоритмом, влияют на статистику и сильно уменьшают средний размер зерен данной фазы.

Второй вариант значительно больше первого и состоит из 361 тысячи точек. Поэтому загрузка для него составляла около 9 секунд.

Этот вариант данных необходим для проверки скорости работы функций, а также проверки правильности работы функции экстраполяции и определения зёрен.

Перейдем сразу к виду “Euler” и увидим, что на главном изображении большое количество черных точек (рисунок 12).

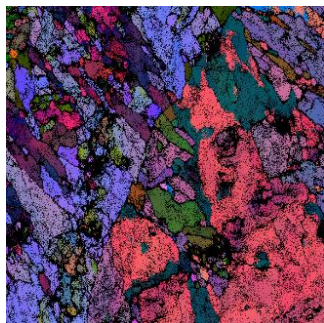


Рисунок 12 – Второй вариант исходных данных

Черные точки – неопределённые (из-за неточности измерений или ошибок, связанных с возможной загрязненностью поверхности образца).

Именно эти точки нужно определить с помощью экстраполяции. Если же экстраполяцию не проводить, при определении зёрен, получится результат, представленный на рисунке 11 (слева), который очевидно не соответствует действительности. Результат определения зерен с таким же пороговым углом разориентации после 15 циклов экстраполяции представлен на рисунке 13 (справа)

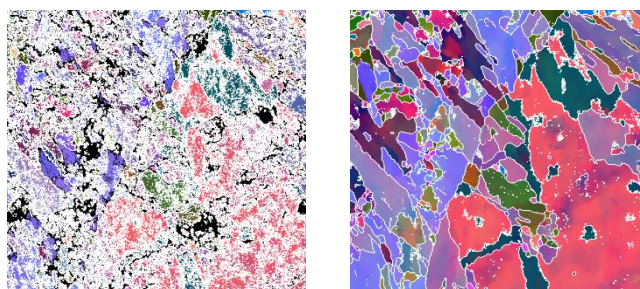


Рисунок 13 – Экстраполяция второго варианта данных

Следует отметить, что все неопределённые точки исчезли, при этом зёрна теперь определяются правильно. По полученной статистике видно, что основную площадь образца занимают зёрна с фазой 1. Меньше всего зёрна с фазой 2. Попробуем найти их на изображении. Для этого воспользуемся таблицей зёрен, отфильтровав её по фазам и кликнув по зерну со второй фазой. Приблизим для лучшего рассмотрения (рисунок 14).

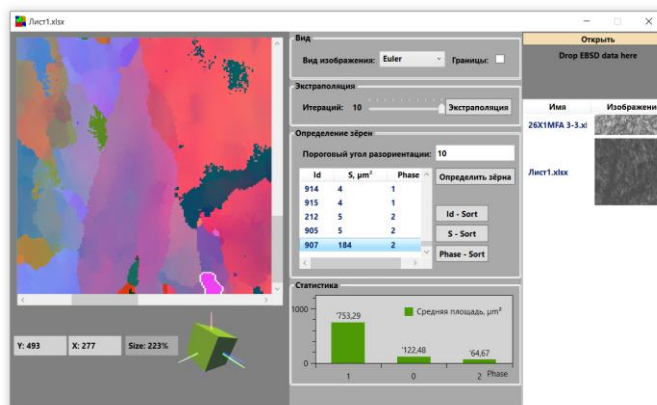


Рисунок 14 – Проверка выделения зёрен с помощью таблицы

По таблице видно, как мелкие зерна сильно влияют на статистику. У выделенного зерна площадь $184 \mu\text{m}^2$, но из-за двух зёрен с площадью $5 \mu\text{m}^2$, средняя площадь снизилась до $64,7 \mu\text{m}^2$. Можно для таких случаев ввести в программу настройку минимальной площади зёрен, учитываемых в статистике.

Скорость обработки данных с использованием графического процессора увеличилась приблизительно в 80 – 100 раз по сравнению с центральным процессором.

Заключение

В общих чертах был изучен метод дифракции отражённых электронов (EBSD), рассмотрен фреймворк для работы с вычислительными мощностями графического процессора (OpenCL) и представлены особенности работы с ним.

В процессе работы создано программное обеспечение, позволяющее производить анализ и частично ускоренную обработку EBSD данных.

Библиографический список

1. В.Н. Варюхин, Е.Г. Пашинская, А.В. Завдоев, В.В. Бруховецкий Возможности метода дифракции обратнорассеянных электронов для анализа структуры деформированных материалов. Национальная академия наук Украины, Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина 2014. 101с.

2. Open standard for parallel programming of heterogeneous systems [Электронный ресурс] – URL: <https://www.khronos.org/opencl/> (дата обращения: 10.10.2021).

3. Generating Orientation Maps to Present EBSD Data [Электронный ресурс] – URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=11775> (дата обращения: 10.10.2021).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Киселева Т.В., Маслова Е.В., Бычков А.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kis@siu.sibsiu.ru*

Аннотация. В докладе рассмотрен вопрос актуальности применения машинного обучения для решения задач из различных сфер деятельности, в частности, для решения задачи распознавания образов. Описан метод обучения с учителем. Приведен в качестве примера метод *k*-ближайших соседей, а также рассмотрен способ оценки точности работы алгоритма в случае бинарной и мультиклассовой классификации. Приведена базовая структура нейрона.

Ключевые слова: машинное обучение, распознавание образов, нейронные сети, метод *k*-ближайших соседей, обучение с учителем.

Abstract. The article considers the issue of the relevance of using machine learning for solving problems from various fields of activity, in particular, for solving the problem of pattern recognition. The method of teaching with a teacher is described. The method of *k*-nearest neighbors is given as an example, and a method for assessing the accuracy of the algorithm in the case of binary and multiclass classification is considered. The basic structure of a neuron is shown.

Keywords: machine learning, pattern recognition, neural networks, *k*-nearest neighbors method, supervised learning.

В современных условиях широкого применения информационных систем объем данных, с которыми они работают, расширяется в геометрической прогрессии и для эффективной работы с ними необходимы инструменты, которые могли бы собирать и обра-

батывать эти данные с большой скоростью, анализировать их, находя различные закономерности для облегчения их классификации и прогнозирования. Такие средства все чаще называют Big Data.

В основе технологии Big Data лежит машинное обучение (англ. machine learning, ML) – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а на основе поиска закономерностей в исходных данных. То есть для решения применяется не конкретная четкая формула, устанавливается зависимость полученных результатов от исходного набора признаков и их значений.

В последнее время одной из наиболее популярных задач для решения с применением методов машинного обучения являются задачи распознавания изображений. Для этого используются искусственные нейронные сети, но прежде, чем распознавать то или иное изображение, нейронная сеть должна быть обучена на обучающих данных.

Каким образом решается любая задача машинного обучения? Задается некоторый набор объектов, который переводится в цифровой вектор. Далее подбирается метод машинного обучения для его обработки, и на выходе получается модель, которая сможет предсказывать результат на новых данных, которых не было в исходном наборе. Оценка качества обучения модели производится по тому, насколько успешно будут распознаны ранее неизвестные объекты. Такое обучение называется «обучение с учителем» или «supervised learning» и является одним из самых распространенных способов организации работы по распознаванию образов.

Для распознавания образов можно использовать разные алгоритмы машинного обучения. К примеру, для классификации изображений может быть использован метод ближайших соседей. Если перевести каждое изображение в многомерное пространство, то разбитые по признакам однородные изображения будут располагаться относительно близко (рисунок 1).

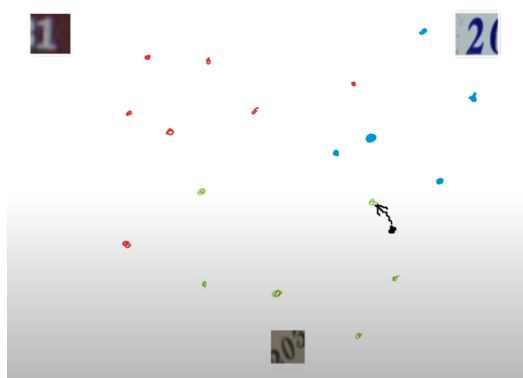


Рисунок 1 – Распределение однотипных изображений в многомерном пространстве для метода ближайшего соседа

Предполагается, что новая точка при появлении в этом пространстве будет располагаться близко к другим точкам того же типа. То есть, если на новом изображении будет ноль, то оно будет располагаться в этом пространстве близко к другим подобным изображениям. Поэтому можно найти ближайшую точку по отношению к новой и сделать предположение, к какому классу принадлежит новое изображение.

Следует уточнить, что такое «ближайший». Для определения расстояния между точками обычно используются следующие формулы:

$$L_2 = \sqrt{\sum_i (v_i - u_i)^2}, \quad (1)$$

$$L_1 = \sum_i |v_i - u_i|, \quad (2)$$

где L_2 – стандартное Евклидово расстояние (длина многомерного отрезка), а L_1 – сумма разниц между координатами.

В этом случае важна точность на обучающей и контрольной выборках. Точность любого алгоритма определяется по тому, насколько он хорошо работает на новых, ранее неизвестных данных. Поэтому была разработана модификация метода ближайшего соседа в виде метода k -ближайших соседей. Этот метод показывает части себя чуть хуже на обучающей выборке, но лучше на контрольной. Идея состоит в том, чтобы использовать не одного ближайшего соседа, а нескольких, число которых определяется гиперпараметром k .

Выбираются несколько ближайших соседей, и производится расчёт того, какой класс выражен сильнее всего из данной выборки. Для каждой задачи параметр k подбирается индивидуально. В зависимости от этого параметра может возникать ситуация недообучения или переобучения (*underfitting* или *overfitting*).

Недообученная модель не даёт высокой точности на реальных данных из-за того, что она недостаточно сложна. В случае переобучения граница между классами слишком сложна, она не генерализована, вместо обобщения модель запоминает случайные шумы, модель находит закономерности, которых нет, что также приводит к снижению точности на новых данных. Поэтому вопрос выбора гиперпараметров является одним из основных на практике, для его решения можно привлекать экспертов.

Для оценки точности работы алгоритма можно разбить исходный набор на три части – тренировочный, валидационный и тестовый. Валидационный набор данных используется как средство подбора гиперпараметра k . После работы тренировочного и валидационного наборов модель проверяется на тестовом наборе данных.

Для оценки точности используются различные метрики. Выбор каждого конкретного метода оценки точности зависит от специфики задачи.

В случае бинарной классификации, когда всего два класса (пример: есть дефект или нет дефекта), можно использовать простейший вариант с расчётом точности по формуле (3).

$$Accuracy = \frac{correct}{total} \quad (3)$$

Accuracy – точность, correct – правильные варианты ответов, total – все попытки отнести объект к одному из двух классов. У этого подхода есть два недостатка.

Первый заключается в том, что с этим подходом тяжело работать, когда наборы данных не сбалансированы. В случае с наличием дефектов может возникнуть ситуация, когда дефекты редки в исходном наборе данных, например, их всего 1%. Тогда самый простейший классификатор будет точен на 99 %. Но при этом на практике количество брака будет намного больше.

Второй недостаток состоит в том, что ошибки могут быть разного рода. То есть, «стоимость» того, что дефект был пропущен, для предприятия будет гораздо выше, чем при ложном срабатывании.

Поэтому в таких ситуациях используют метрики Precision и Recall.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

где TP (True positives) – это те объекты, которые действительно являются дефектами и которые были выделены моделью как дефекты;

FN (False negatives) – объекты, которые являются дефектами, но которые модель не обнаружила;

TN (True negatives) – объекты, в которых нет проблем и которые модель проигнорировала.

FP (False positives) – объекты, в которых нет проблем, но которые модель отметила как дефектные.

Метрика Precision (формула 4) показывает, насколько выбранные моделью объекты релевантны условию поиска. То есть, если $\text{precision} = 0,8$, то это значит, что из 100 найденных моделью объектов только у 80 дефект действительно есть. Метрика Recall (формула 5) показывает, сколько релевантных объектов было выбрано, то есть, сколько было выбрано объектов с дефектом по сравнению со всеми дефектными объектами в целом.

Такой подход лучше работает в несбалансированных наборах данных. Управляя тем, какой параметр более важен, можно приоритезировать конкретный тип ошибки, уменьшая в первую очередь его.

В случае мультиклассовой классификации используются те же способы, но с небольшими изменениями.

Точность Accuracy рассчитывается также по формуле (3). Для расчёта Precision и Recall строится матрица ошибок, пример которой приведен на рисунке 2. По горизонтали расположены фактические значения распознаваемых объектов, по вертикали то, что предсказывает алгоритм.

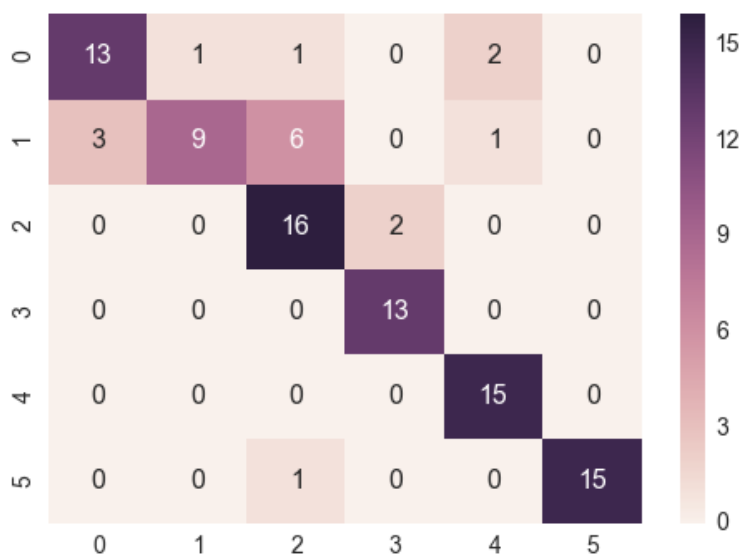


Рисунок 2 – Матрица ошибок

С помощью такой матрицы можно считать Precision и Recall как для любого класса.

Общий подход к машинному обучению с учителем при использовании разделения исходного набора данных на три (тренировочный, валидационный и тестовый) выразил корейский программист и автор книг по машинному обучению Эндрю Ён (Andrew Ng). Сначала производится обучение на тренировочном наборе. Если ошибка большая, то это недообученная модель. Следует уточнить параметры модели, либо использовать другой подход. Если погрешность небольшая, то происходит проверка на валидационном наборе. Если ошибка большая, значит, модель переобучена. В данном случае нужно использовать большее количество исходных данных, либо добавлять дополнительные ограничения. Далее следует проверка на тестовом наборе данных. Если в этом случае получена большая погрешность, то проверке подвергаются исходные данные. Если тренировочный и тестовый наборы отличаются, то следует поменять наборы, так как тренировочный и тестовый наборы данных должны быть близки друг к другу. Если же ошибка на всех трёх проверках была приемлемой в рамках конкретной задачи, то можно такую модель использовать по назначению.

При распознавании образов, как уже было сказано выше, используются нейронные сети. Рассмотрим их подробнее. Базовая схема нейрона приведена на рисунке 3.

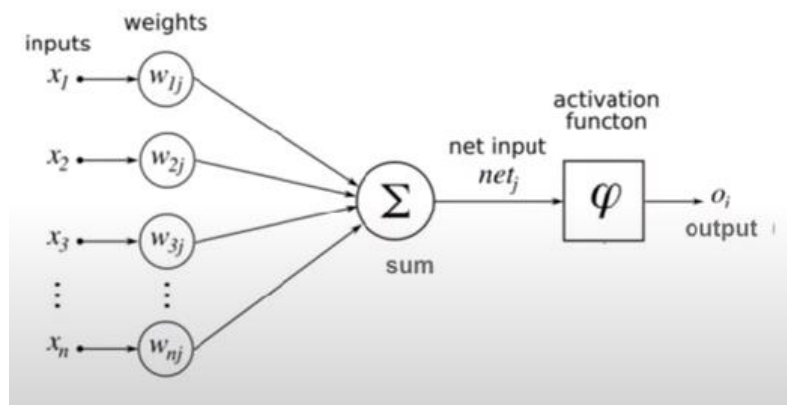


Рисунок 3 – Пример структуры нейрона

На вход нейрона подаются некоторые числа от x_1 до x_n . Важно отметить, что нейронные сети всегда работают только с числами. Каждое из этих чисел умножается на некий соответствующий ему вес w_{ij} . Далее полученные значения суммируются. После чего к этой сумме применяется функция активации, которая преобразует её в выход o_i . Этот выход может пойти на входы другим нейронам. Так же, как и природный нейрон получает на вход разные электрические сигналы, а выдаёт только один, нейрон в машинном обучении получает на вход несколько разных чисел, а выдаёт одно число.

Таким образом, рассмотрена актуальная задача применения машинного обучения, приведено определение машинного обучения в целом и «обучения с учителем» в частности. Дано понятие точности, описаны алгоритмы расчёта точности для бинарного и мультиклассового классификатора. Описана базовая методика повышения точности с разделением исходного набора данных на тренировочный, валидационный и тестовый. Приведен пример базовой структуры нейрона.

Библиографический список

1. Киселева Т.В. Прогнозирование реализаций показателей, характеризующих здоровье населения с помощью нейронных сетей на примере травматизма / Т.В. Киселева, Н.Н. Максимова, А.В. Дейли // Сборник докладов Международной конференции «Инноватика, 2009». – М: Энергоатомиздат, 2009. – 77-82 с.
2. Киселева Т.В. Применение классических и нейросетевого методов расчета вероятности прогноза в многовариантном прогнозаторе / Т.В. Киселева, А.С. Дружилов // Сборник докладов Российской конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве». – Новокузнецк, 2011. – 507-513 с.
3. Киселева Т.В. Прогнозирование показателей травматизма с помощью нейронных сетей / Т.В. Киселева, Н.Н. Максимова, В.В. Трофимов // Сборник трудов Международной конференции по теории активных систем. – М.: 2009. – 89-93 с.
4. Киселева Т.В. Многовариантное прогнозирование потребности населения города Новокузнецка в лекарственных препаратах на базе нейросетевых технологий / Т.В. Киселева, А.С. Дружилов, А.В. Дейли // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инноватика, 2010». – М: Энергоатомиздат, 2010. – 118-124 с.
5. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002 – 94 с.
6. Червяков Н.И. Применение нейронных сетей для задач прогнозирования и проблемы идентификации моделей прогнозирования / Н.И. Червяков // Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2003. – № 10. – 11-14 с.
7. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001 – 382 с.

МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ЦИФРОВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР

Стародубов А.Н.^{1,2}, Пылов П.А.²

¹ Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, Кемерово, Россия,

² Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачёва, Кемерово, Россия, a.n.starodubov@gmail.com

Аннотация: Переход к цифровизации в современном мире неизбежно влечет за собой потребность в переносе данных из рукописного вида в цифровой. Процедура переноса является ресурсоёмким процессом, не исключая, кроме этого, ошибок, связанных с человеческим фактором. По этой причине возрастает актуальность осуществления этой операции программными средствами, в частности алгоритмами искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, свёрточная нейронная сеть, распознавание образов.

Abstract: The transition to digitalization in the modern world inevitably entails the need to transfer data from handwritten to digital. The transfer procedure is a resource-intensive process, which does not exclude, in addition, errors associated with the human factor. For this reason, the relevance of the implementation of this operation by software, in particular by artificial intelligence algorithms, is increasing.

Keywords: artificial intelligence, convolutional neural network, pattern recognition.

Задача распознавания рукописных цифр программными средствами относится к разряду творческих задач [1], поскольку её решение сопряжено большим количеством сложно учитываемых факторов (например, угол наклона цифры, её форма, изгиб, стиль написания). Системы искусственного интеллекта, разрабатываемые для решения подобных задач, не поддающихся прямому программированию, нашли своё применение в проблеме распознавания рукописных цифр [2].

Кроме знания о том, что данную проблему хорошо решают модели искусственного интеллекта [2], необходимо остановить свой выбор на конкретном языке программирования, который станет основой для написания модели.

Правильный выбор языка программирования, на котором будет реализована модель, коренным образом влияет на эффективность функционирования алгоритма [1]. Как минимум, эта зависимость прослеживается уже в отличиях низкоуровневых языков программирования от высокоуровневых [3]. Применение низкоуровневых языков программирования позволит существенно повысить скорость обработки команд и уменьшить общее время ожидания результатов работы алгоритма. Но в перевес быстрой скорости работы, низкоуровневые языки программирования очень сложны в написании программного кода стандартных программ, а в условиях реализации моделей искусственного интеллекта сложность написания алгоритма повышается в несколько раз [4].

Принимая во внимание вышеизложенный тезис, следует остановить выбор на таком языке программирования, который одновременно обеспечивает быстроту выполнения операций и удобство работы с ним.

Оптимальным вариантом является язык программирования Python. Несмотря на то, что он относится к высокоуровневым языкам программирования, его среда позволяет интегрировать вспомогательные библиотеки для выполнения широкого спектра математических действий, операций над массивами, средств для аналитики больших данных. Вспомогательные библиотеки написаны на программном коде языка C и C++, которые являются одними из главных представителей языков низкого уровня. Так как на основании таких библиотек можно выполнять большинство функций, необходимых для реализации модели искусственного интеллекта, не теряя при этом ни в скорости работы программного кода модели (поскольку большая её часть выполняется на языке C/C++), ни в

удобстве написания кода, то применение языка программирования Python для написания модели является обоснованным решением.

При решении задачи распознавания рукописных цифр в первую очередь важно не только качество работы алгоритма, но и его практическая ценность, которая характеризуется дальнейшим применением алгоритма в прикладных задачах. Так как цель состоит в правильной идентификации числа с изображения, то наиболее точным инструментом для её решения является подобласть глубокого обучения [1].

Эффективная идентификация объектов на изображениях, видеопотоке и снимках реализуется при внедрении алгоритмов нейронных сетей [5]. В рамках данной статьи представлено решение задачи на основе сверточной нейронной сети (Convolutional Neural Network), реализованную средствами языка программирования Python версии 3.9.2.

В качестве исходных данных выбран открытый датасет [6], который свободно распространяется по лицензии Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>). В наборе данных содержатся рукописные изображения цифр, размеченных специалистами (для каждой цифры в отдельном столбце поставлено в соответствие цифровое значение, которое она несёт в графическом представлении).

В качестве подготовительного шага к реализации модели нейронной сети, отобразим в графическом формате количественное соотношение цифр в датасете (рисунок 1).

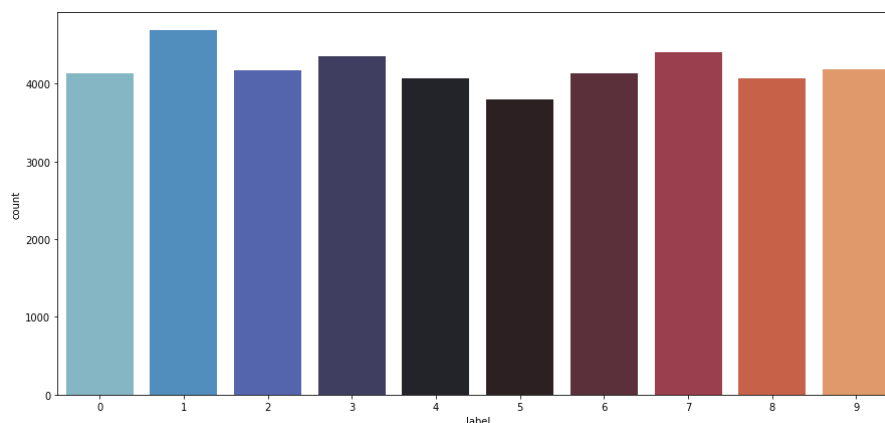


Рисунок 1 – Соотношение отдельных цифр в наборе данных

Из рисунка 1 следует, что набор данных достаточно сбалансирован (каждый экземпляр числа встречается приблизительно 4000 раз).

Пример отображения отдельного сэмпла цифры 4 приведен на рисунке 2.

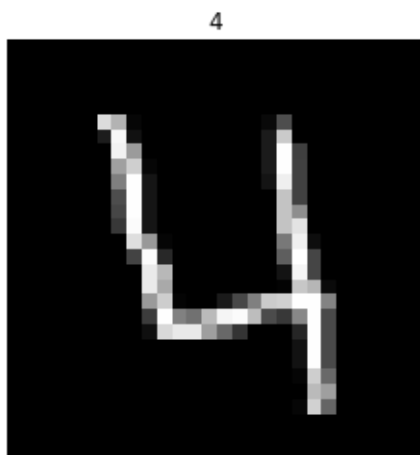


Рисунок 2 – Отдельный сэмпл числа

Из рисунка 2 легко заметить, что цветовая гамма числа не является равномерной. Общий цветовой оттенок можно отнести к серому, но в одних областях числа он явно ближе к светлому, а в других оттенок имеет более темный цвет.

Главной задачей алгоритма является определение правильного числа на основе различий в цифрах, поэтому влияние различий между цифрами одного числа необходимо свести к минимуму. Разный уровень освещённости цифр, из-за которого происходит перетекание оттенков цвета нивелируется путём нормализации оттенков серого. Методика нормализации цвета позволяет повысить скорость работы алгоритма сверточной нейронной сети, но при этом не корректирует исходную форму цифры.

Также, все элементы изображений имеют размер 28*28 пикселей, что позволяет преобразовать их в 3D – матрицу 28*28*1, где 1 – это нормализованная шкала серого, поэтому применяется только один канал.

Чтобы повысить точность итоговой модели, искусственно модифицируем имеющиеся данные путём аугментации и поворота изображения цифры. Эта дополнительная операция повышает обобщающую способность алгоритма, так как непривычная ориентация числа, его поворот и толщина линии часто встречаются в прикладных данных (рисунки 3 и 4).

```
dataModify = ImageDataGenerator(  
    featurewise_center=False,  
    samplewise_center=False,  
    featurewise_std_normalization=False,  
    samplewise_std_normalization=False,  
    zca_whitening=False,  
    rotation_range=5,  
    zoom_range = 0.1,  
    width_shift_range=0.1,  
    height_shift_range=0.1,  
    horizontal_flip=False,  
    vertical_flip=False)  
  
dataModify.fit(X_train)
```

Рисунок 3 – Модификация расположения числа

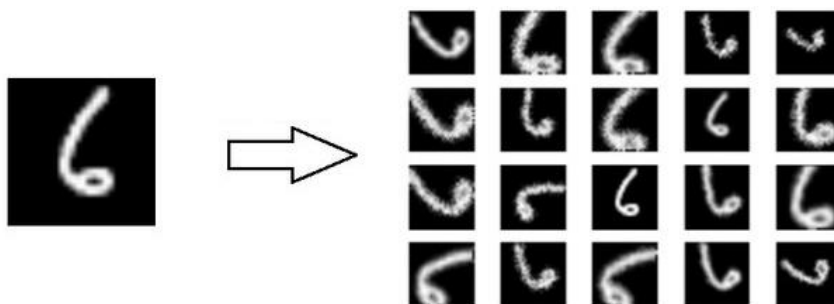


Рисунок 4 – Модификация числа

Полученный набор исходных данных разделяем в соотношении 90/10 между тренировочной и тестовой выборкой соответственно. Обучение сверточной нейронной сети при таком процентном соотношении является наиболее полным, так как данных достаточно для формирования обобщающей способности алгоритма, а тестовой выборки будет достаточно для оценки точности реализованной модели [1]. Процесс обучения модели сверточной нейронной сети представлен на рисунке 5, итоговая точность обученного алгоритма составила 0,984.

```

Epoch 1/10
151/151 [=====] - 26s 170ms/step - loss: 1.1310 - acc: 0.6186 - val
_loss: 0.2363 - val_acc: 0.9386
Epoch 2/10
151/151 [=====] - 24s 160ms/step - loss: 0.4386 - acc: 0.8604 - val
_loss: 0.1476 - val_acc: 0.9590
Epoch 3/10
151/151 [=====] - 24s 162ms/step - loss: 0.3276 - acc: 0.8960 - val
_loss: 0.1146 - val_acc: 0.9674
Epoch 4/10
151/151 [=====] - 24s 160ms/step - loss: 0.2716 - acc: 0.9144 - val
_loss: 0.1002 - val_acc: 0.9705
Epoch 5/10
151/151 [=====] - 24s 162ms/step - loss: 0.2458 - acc: 0.9228 - val
_loss: 0.0858 - val_acc: 0.9750
Epoch 6/10
151/151 [=====] - 25s 163ms/step - loss: 0.2242 - acc: 0.9315 - val
_loss: 0.0804 - val_acc: 0.9762
Epoch 7/10
151/151 [=====] - 24s 158ms/step - loss: 0.2076 - acc: 0.9361 - val
_loss: 0.0733 - val_acc: 0.9781
Epoch 8/10
151/151 [=====] - 25s 164ms/step - loss: 0.1981 - acc: 0.9387 - val
_loss: 0.0705 - val_acc: 0.9781
Epoch 9/10
151/151 [=====] - 24s 161ms/step - loss: 0.1886 - acc: 0.9423 - val
_loss: 0.0647 - val_acc: 0.9817
Epoch 10/10
151/151 [=====] - 25s 163ms/step - loss: 0.1713 - acc: 0.9462 - val
_loss: 0.0594 - val_acc: 0.9836

```

Рисунок 5 – Обучение модели сверточной нейронной сети

В качестве основной метрики оценки точности решения задачи определения класса (в частном случае – детекции числового значения) является матрица ошибок (confusion matrix) [1, 2, 5, 7]. Матрица ошибок представляет собой соотношение столбцов (истинных значений) и строк (предсказанных значений) на основе которого можно определить, сколько экземпляров истинного класса было верно предсказано алгоритмом, а какие значения были неправильно интерпретированы им.

Матрица ошибок для сверточной нейронной сети, решающей задачу распознавания рукописных цифр, изображена на рисунке 6.

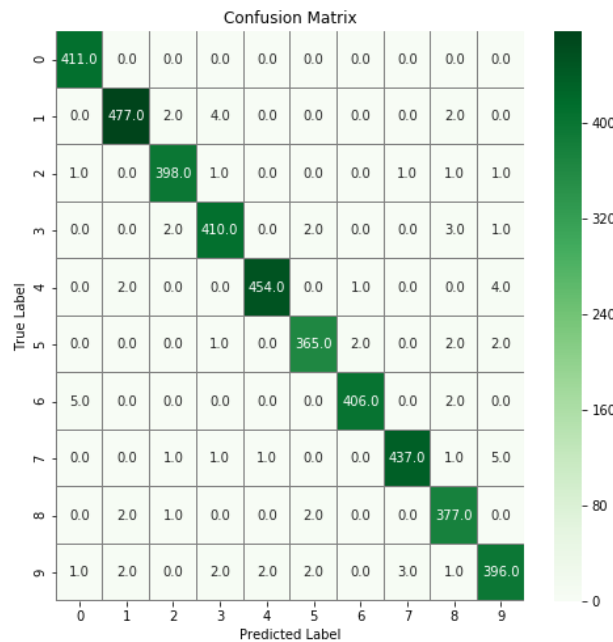


Рисунок 6 – Матрица ошибок сверточной нейронной сети

На примере цифры 0 (рисунок 6) показано, насколько хорошо интерпретируются рукописные числа в цифровые алгоритмом. Первый элемент первой строки равен 411, остальные элементы в первой строке отсутствуют: это означает, что все числа, которые

являются нулём, были верно определены алгоритмом как цифра ноль. Стоит заметить, что одна девятка, одна двойка и пять шестёрок были определены алгоритмом как число ноль. Таким образом, несмотря на отдельные недочёты, модель позволяет высокоэффективно трансформировать истинные значения рукописных цифр в их цифровой формат.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект «Лаборатория перспективных методов управления горнотехническими системами» (Соглашение № 075-00485-21-01 от 24.09.2021).

Библиографический список

1. Michael Nielsen. Neural Networks and Deep Learning. – Apress. 2019. – 224 с.
2. Mueller J. P., Massaron L. Python for data science for dummies. – John Wiley & Sons, 2019.
3. Отличия низко- средне- и высокоуровневых языков программирования друг от друга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://techrocks.ru/2018/11/07/low-middle-high-level-programming-languages/>.
4. Samir Madhavan. Mastering Python for Data Science – Packt Publishing. 2018. – 276 с.
5. Dmitry Zinoviev. Complex Network Analysis in Python – The Pragmatic Bookshelf. 2018. – 219 с.
6. THE MNIST DATABASE of handwritten digits [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/index.html>
7. David Kopec. Classic Computer Science Problems in Python. – Manning Shelter Island. 2019. – 201 с.

РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ИХ РОЛЬ В СТАНОВЛЕНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Гусев С.С.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия, gs-serg@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются ядерные технологии в России, которые всегда занимали особое место: они обеспечивали стратегическую защищённость, поддерживали глобальный паритет на этапах превосходства противников на мировой арене в сфере военных технологий, обеспечивали энергетическую безопасность. В современном мире развитие ядерных и радиационных технологий является одним из двигателей индустриального и общественного развития (крупный технологический проект неизбежно оказывается полюсом влияния на образование, экологию, экономику и культуру).

Ключевые слова: ядерные технологии, атомные электростанции, быстрые реакторы, радиоактивные отходы, природные ресурсы обогащенного урана.

Abstract. The article discusses nuclear technologies in Russia, which have always occupied a special place: they provided strategic security, maintained global parity at the stages of the superiority of opponents on the world stage in the field of military technology, and ensured energy security. In the modern world, the development of nuclear and radiation technologies is one of the engines of industrial and social development (a major technological project inevitably turns out to be a pole of influence on education, ecology, economy and culture).

Keywords: nuclear technologies, nuclear power plants, fast reactors, radioactive waste, natural resources of enriched uranium.

Введение

В настоящее время ядерным технологиям мир обязан порядка 13% всей производимой электроэнергии, с минимальной стоимостью киловатт-часа и самыми низкими показателями экологического загрязнения.

При строительстве АЭС, чтобы добиться хоть каких-то цифр относительно воздействия на окружающую среду и выброса CO₂, учитываются даже выхлопы дизельных генераторов строителей.

С чисто технологической точки зрения стоит отметить, что завидные показатели ядерной энергетики достигнуты с использованием реакторов, которые работают на «тепловых» или «медленных» нейтронах – нейтронах, прошедших через специальный замедлитель (вода, тяжёлая вода или графит), скинувших избыток энергии и запустивших самоподдерживающуюся цепную ядерную реакцию. Соответственно, от количества доступных для ядерной реакции свободных нейтронов и способности топлива их захватывать зависит скорость протекания реакции и многие инженерно-конструкторские задачи, которые необходимо решить для успешной работы ядерного реактора. По наблюдениям учёных, в технологии так называемых быстрых реакторов («бридеры» или «реакторы-размножители») – есть избыток нейтронов, формируется нейтронный поток в 2,3 свободных нейтрона против 1 для тепловых реакторов. Этот колоссальный потенциал, помимо непосредственного энергогенерирующего применения, можно использовать для воспроизводства ядерного топлива и для решения других задач: когенерации электричества и тепла, опреснения воды, производства водорода и прочих.

Работающая сегодня ядерная энергетика в качестве топлива использует почти исключительно уран-235, содержание которого – всего 0,7% в ископаемом уране. До operable количества процент урана-235 в топливных элементах доводится за счёт специальных обогатительных процедур. Быстрые реакторы могут нарабатывать плутоний, чем вовлекают в генерацию и идущий сегодня на склады/свалки уран-238, содержание которого в добытой руде составляет оставшиеся 99,3%; а плутоний, в свою очередь, отлично подходит в качестве топлива для оперируемых сегодня тепловых реакторов, то есть в быстрых реакторах образуется больше топлива, чем потребляется!

Согласно оценкам МАГАТЭ, разведанных запасов урана-235 хватит приблизительно на 85 лет – это на порядок меньше, чем нефти или газа. У такой ядерной энергетики долговременного будущего, по всей видимости, нет. Но картина решительно меняется при рассмотрении широкомасштабного внедрения ядерных реакторов на быстрых нейтронах и замыкании топливного цикла.

Эта версия развития открывает к использованию все природные ресурсы урана (235 и 238), а также тория и наработанного оружейного плутония, и тогда разведанных запасов хватит на (по разным оценкам) приблизительно 2500 лет, с учётом неукоснительного роста энергопотребления и дефицита ресурсов по Мальтусу. Неудивительно, что бридеры с самого начала развития ядерной энергетики полагались будущей основой мировой ядерно-генерирующей индустрии. В роли «ограничителя» выступает уровень развития технологий: работа с быстрыми реакторами, подразумевающая замыкание топливного цикла, ещё требует дорогого и сложного комплекса по переработке и рециклу облучённого ядерного топлива. Но, несмотря на более высокие удельные затраты на переработку ОЯТ быстрых реакторов, меньшие требуемые объёмы перерабатываемых материалов для получения единицы плутония делают этот процесс экономически чертовски выгодным – по сравнению с сегодняшней переработкой отходов тепловых реакторов.

К слову о накопленных радиоактивных отходах: быстрые реакторы позволяют перерабатывать оружейный плутоний и младшие актиниды (нептуний, америций, кюрий), извлечённые из отработавшего топлива обычных тепловых реакторов (младшие актиниды в настоящее время представляют собой весьма опасную часть радиоактивных отходов). Отработанное топливо медленных реакторов – это новое топливо для будущей ядерной энергетики, и такое будущее уже наступает. И целых два предприятия, способных перерабатывать облучённое ядерное топливо, находятся в России. В мире таких заводов не многим больше, чем два российских.

Мировая гонка за быстрыми реакторами

Первый в мире ядерный реактор был «медленным»: он был построен Энрико Ферми под западными трибунами футбольного поля Чикагского университета из графитовых и урановых блоков, на 28 минут с помощью такой-то матери запущен в 1942-ом году и не имел решительно никакой защиты от радиации и системы охлаждения. По довольно точному описанию самого г-на Ферми, эта разработка выглядела как «сырая куча черных кирпичей и деревянных брёвен», чем фактически и являлась. Но уже тогда он мечтал построить быстрый реактор.

Первые быстрые реакторы, соответственно, и появились в Америке: в Лос-Аламос в 1946-ом заработал стенд «Клементина», в котором в качестве довольно экзотичного теплоносителя выступала ртуть; а в 1951-м в Айдахо был запущен первый энергетический реактор EBR-1 (Experimental Breeder Reactor) мощностью всего 0,2 МВт, который продемонстрировал возможность одновременного производства электроэнергии и ядерного топлива в одном устройстве и дал старт истории атомной энергетики. Позднее, в 1963 году, в Детройте был запущен опытно-промышленный реактор на быстрых нейтронах «Энрико Ферми» мощностью около 100 МВт, но спустя всего три года там произошла серьезная авария с расплавлением части активной зоны – правда, без последствий для окружающей среды или людей.

Необходимая для советского атомного проекта возможность расширенного производства плутония была доказана на первом исследовательском советском реакторе с номенклатурно-незатейливым названием БР-1, запущенном в Обнинске в 1956-ом году. Получить же необходимые для разработки энергетического быстрого реактора данные удалось только на более старшей версии БР-5, созданной в 1959 году. Позднее, в 1970-ом, был пущен экспериментальный реактор БОР-60 в НИИАР (Димитровград), который до сих обеспечивает город теплом и электричеством. Далее технология была также отработана на первом в мире энергетическом реакторе на быстрых нейтронах БН-350, стартовавшем в 1973-м и занимавшимся энергогенерацией и опреснением воды в степях вплоть до его остановки в 1990-х годах. Впрочем, БН-350 был остановлен не по исчерпанию технического ресурса, а из-за опасений касательно качества обеспечения его эксплуатации после распада СССР.

В 1980-м на Белоярской АЭС начал работать БН-600, по состоянию на сегодня – единственный в мире действующий промышленный реактор на быстрых нейтронах. Сегодня на стадии технического проектирования уже находится реактор нового поколения БН-1200, предназначенный для серийного сооружения, – его ввод в эксплуатацию намечен на 2025. Также к 2020 на территории Сибирского химического комбината в Северске планируется запуск быстрого реактора на 300 МВт со свинцово-висмутовым теплоносителем – эта технология десятилетиями отработывалась в реакторах подводных лодок и ледоколов.

В конце 1950-х годов к лидерам ядерной гонки присоединились Англия и Франция со своими проектами. В 1986-м консорциум европейских стран подключил к сети реактор «Суперфеникс», при создании которого заимствовались некоторые решения, воплощенные ранее в советском БН-600, но в 1996 году проект был закрыт без права воскрешения. Дело в том, что стараниями масс-медиа вокруг «Суперфеникса» была раздута массовая истерия: строящийся реактор ассоциировался в первую очередь с наработкой плутония.

Раздутая в медийном поле катавасия вылилась в шестидесятитысячные акции протеста, перерастающие в уличные беспорядки, а через год после физического пуска, здание АЭС было в пять залпов обстреляно через Рону из советского противотанкового гранатомёта РПГ-7.

Существенного урона станции авторы этого праздника жизни, к счастью, нанести не смогли. Но проект вскоре был свернут. Впрочем, в 2010-ом французы вновь возвращаются к строительству реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем – проект зовётся «Astrid», планируемая мощность – 600 МВт. И хотя Франция в своей про-

грамме быстрых реакторов опирается на собственные разработки, она по-прежнему в основном использует русские обогатительные производства.

Догнать и перегнать всех на свете стремятся китайцы, в том числе потому, что их здесь обошла Индия, которая после многочисленных переносов собирается в этом году провести физический пуск демонстрационного быстрого реактора собственной разработки PFBR-500. После его ввода Индия хочет приступить к строительству серии из шести коммерческих энергоблоков по 500 МВт каждый и на той же территории построить завод по переработке ядерного топлива, вовлекая свой ядерно-топливный торий, которого у них очень много.

Японцы, в свою очередь, вопреки ожидаемой реакции после фукусимской аварии, продолжают возрождение быстрого реактора «Мондзу», работавшего с 1994 по 1995 гг. К слову отметить, не стоит обманываться в отношении фукусимской трагедии: для ядерной энергетики вообще характерна цикличность развития. После каждой аварии (Трёхмильный остров, Чернобыль, Фукусима) интерес к АЭС слегка ослабевает, но потом потребности в электроэнергии снова диктуют свой категорический императив – и вот в эксплуатацию вводятся следующие поколения реакторов, с новыми типами защитных механизмов.

Всего в мире было разработано порядка 30 концепций быстрых реакторов, часть из которых была экспериментально отработана «в железе». Но похвастаться отработанными технологиями и безаварийной эксплуатацией промышленных быстрых реакторов в своем национальном портфолио на сегодня может быть только одна страна – и это Россия.

Сложная инженерия

Достоинства быстрых реакторов очевидны, равно как очевидна и инженерная сложность их создания. Отсутствие необходимых технологий – вот одна из ключевых причин, почему быстрые реакторы на текущий момент не получили более широкого распространения. Как отмечалось ранее, воду – замедлитель нейтронов – в быстрых реакторах использовать нельзя, поэтому используются металлы в жидком состоянии: от самого распространённого натрия до свинцово-висмутовых сплавов. Использование жидкометаллического теплоносителя в условиях многократно более интенсивного энерговыделения, чем в традиционных реакторах, ставит ещё одну серьёзную задачу – материаловедческую. Все компоненты корпуса реактора и внутриреакторных систем необходимо изготавливать из коррозионноустойчивых спецматериалов, способных выдержать характерные для жидкого натрия в быстром реакторе 550°C.

Проблема подбора правильных материалов создала немало задач для неиссякаемой находчивости отечественных инженеров. Когда в активной зоне работающего реактора искривилась одна топливная сборка, чтобы её достать, французские атомщики изобрели сложный и дорогой способ «видения» сквозь слой жидкого натрия. Когда та же проблема возникла у русских, наши инженеры решили элегантно использовать простую видеокамеру, помещённую в своеобразный водолазный колокол – трубу с поддувом аргона сверху, что позволило операторам быстро и эффективно достать испорченные топливные элементы.

Разумеется, инженерная сложность быстрого реактора сказывается на его стоимости, которая в настоящее время – когда быстрые реакторы находятся скорее в концептуальном поле, – существенно выше, чем у тепловых реакторов. Все процессы по замыканию ядерно-топливного цикла также достаточно дорогие: технологии имеются, они отработаны, отрабатываются и развиваются, но их ещё предстоит вывести на потоковый коммерческий уровень. К счастью, для России это – вопрос ближайших двух-трёх десятилетий.

Мягкая сила быстрых нейтронов

Бесспорное технологическое превосходство России в области замыкания ядерно-топливного цикла, очевидно, должно получить стратегическую реализацию на мировой арене. Россия может принять на себя бремя лидерства по созданию такой мировой инфра-

структуры, которая позволила бы обеспечить равный доступ всех заинтересованных государств к атомной энергии, но при этом надежно гарантировала бы соблюдение требований режима нераспространения. В плане реализации этой инициативы предусмотрены следующие направления:

- создание международных центров по обогащению урана (МЦОУ), первый из которых располагается в Ангарске;
- формирование международных центров по переработке и хранению ОЯТ (не всё же облизываться на наши просторы);
- создание международных центров по подготовке квалифицированного персонала для АЭС и проведение совместных научно-исследовательских работ в области защищенных от несанкционированного распространения ядерных технологий.

По состоянию на сегодня наиболее разработанной частью выдвинутой программы стал пункт о создании МЦОУ: подобные центры функционируют как совместные коммерческие предприятия, не пользующиеся государственной поддержкой. В совет директоров подобных предприятий должны входить представители власти, сотрудники компаний ядерно-топливного цикла и эксперты МАГАТЭ, притом последние окажутся консультантами без права голоса, чьей целью будет верификация работы центра и сертификация отдельных его действий. Соответственно, к технологиям обогащения неядерные страны допускаться не будут, а это вопрос довольно серьезный.

К сожалению, остальные положения инициативы по созданию глобальной инфраструктуры ядерной энергетики не получили содержательного наполнения. В связи с чем возникает естественный вопрос: есть ли гарантии того, что эти версии политической эксплуатации технического потенциала не окажутся забытыми фантазиями на бумаге?

Для выхода из создавшейся ситуации, для привлечения широкого круга развивающихся стран, заинтересованных в мирном использовании ядерной энергетики, для старта программы международных центров ядерно-топливного цикла необходимо наполнить эти предложения прогностико-исследовательским и научно-техническим содержанием.

Привлечённые к крупным исследовательским проектам в сфере экономики ядерной энергетики небольшие и развивающиеся государства способны увидеть свою конкретную выгоду от участия в реализации упомянутых инициатив и понять, какие изменения необходимы в их национальных программах.

Признанный передовой уровень технологии быстрых реакторов в России – единственный в стране, эксплуатирующий промышленный реактор этого типа в сочетании с опытом переработки ядерного топлива, позволит России в долговременной перспективе претендовать на роль одного из лидеров мировой ядерной энергетики.

Успешная реализация российских предложений по созданию глобальной ядерной инфраструктуры является важным фактором для будущего развития мировой энергетики, не говоря уже о российском месте в этом развитии. Воплощение российских предложений может со временем не только обеспечить безопасность глобальной ядерной энергетики и её практически бесконечную топливную самообеспеченность, но и перекроить ландшафт рынка электроэнергетики в целом: угроза дефицита всех видов ископаемого топлива, включая уран, на определённом этапе станет гораздо ближе и реальнее, чем может показаться.

В ответ на растущие цены на углеводороды в мире последние лет этак двадцать наблюдается обострение интереса к альтернативной энергетике. Однако есть ряд оснований полагать, что единственной вменяемой альтернативой традиционной тепловой генерации может быть только ядерная энергетика. О сравнении перспектив ядерной энергетики и возобновляемой генерации написаны очень серьёзные и толстые книги, которые, вкратце, говорят, что в перспективе ближайших десятилетий нам светят быстрые реакторы – и технологическое лидерство России.

Белоярская АЭС

Уникальный российский реактор на быстрых нейтронах, работающий на Белояр-

ской АЭС, вывели на мощность 880 мегаватт — об этом сообщает пресс-служба Росатома. Реактор работает на энергоблоке №4 Белоярской АЭС и сейчас проходят плановые испытания генерирующего оборудования. В соответствии с программой испытаний энергоблок обеспечивает в течение 8 часов поддержание электрической мощности на уровне не ниже 880 мегаватт.

Мощность реактора поднимается поэтапно для того, чтобы в итоге по результатам испытаний получить аттестацию на проектном уровне мощности в 885 мегаватт. На данный момент реактор аттестован на мощность 874 мегаватта.

Напомним, что на Белоярской АЭС работает два реактора на быстрых нейтронах. С 1980 года здесь работает реактор БН-600 — долгое время он был единственным в мире реактором этого типа. Но в 2015 году начался поэтапный запуск второго реактора БН-800. Почему это так важно и считается историческим событием для мировой атомной отрасли? Реакторы на быстрых нейтронах позволяют реализовать замкнутый топливный цикл (в БН-600 в настоящее время он не реализован). Поскольку «сжигается» только уран-238, после переработки (извлечения продуктов деления и добавления новых порций урана-238) топливо можно вновь загружать в реактор. А поскольку в уран-плутониевом цикле плутония образуется больше, чем распалось, излишек топлива можно использовать для новых реакторов.

Более того, этим способом можно перерабатывать излишки оружейного плутония, а также плутоний и младшие актиниды (нептуний, америций, кюрий), извлеченные из отработавшего топлива обычных тепловых реакторов (младшие актиниды в настоящее время представляют собой весьма опасную часть радиоактивных отходов). При этом количество радиоактивных отходов по сравнению с тепловыми реакторами уменьшается более чем в двадцать раз.

Почему же при всех своих достоинствах реакторы на быстрых нейтронах не получили широкого распространения? В первую очередь это связано с особенностями их конструкции. Как уже было сказано выше, воду нельзя использовать в качестве теплоносителя, поскольку она является замедлителем нейтронов. Поэтому в быстрых реакторах в основном используются металлы в жидком состоянии — от экзотических свинцово-висмутовых сплавов до жидкого натрия (самый распространенный вариант для АЭС).

«В реакторах на быстрых нейтронах термические и радиационные нагрузки гораздо выше, чем в тепловых реакторах, — объясняет «ПМ» главный инженер Белоярской АЭС Михаил Баканов. — Это приводит к необходимости использовать специальные конструкционные материалы для корпуса реактора и внутриреакторных систем. Корпуса ТВЭЛ и ТВС изготовлены не из циркониевых сплавов, как в тепловых реакторах, а из специальных легированных хромистых сталей, менее подверженных радиационному ‘распуханию’. С другой стороны, например, корпус реактора не подвержен нагрузкам, связанным с внутренним давлением, — оно лишь чуть выше атмосферного».

По словам Михаила Баканова, в первые годы эксплуатации основные трудности были связаны с радиационным распуханием и растрескиванием топлива. Эти проблемы, впрочем, вскоре были решены, были разработаны новые материалы — как для топлива, так и для корпусов ТВЭЛов. Но даже сейчас кампании ограничены не столько выгоранием топлива (которое на БН-600 достигает показателя 11%), сколько ресурсом материалов, из которых изготовлены топливо, ТВЭЛы и ТВСы. Дальнейшие проблемы эксплуатации были связаны в основном с протечками натрия второго контура, химически активного и пожароопасного металла, бурно реагирующего на соприкосновение с воздухом и водой: «Длительный опыт эксплуатации промышленных энергетических реакторов на быстрых нейтронах есть только у России и Франции. И мы, и французские специалисты с самого начала сталкивались с одними и теми же проблемами. Мы их успешно решили, с самого начала предусмотрев специальные средства контроля герметичности контуров, локализации и подавления протечек натрия. А французский проект оказался менее подготовлен к таким неприятностям, в результате в 2009 году реактор Phenix был окончательно оста-

новлен».

«Проблемы действительно были одни и те же, – добавляет директор Белоярской АЭС Николай Ошканов, – но вот решали их у нас и во Франции различными способами. Например, когда на Phenix погнулась головная часть одной из сборок, чтобы захватить и выгрузить ее, французские специалисты разработали сложную и довольно дорогую систему ‘видения’ сквозь слой натрия. А когда такая же проблема возникла у нас, один из наших инженеров предложил использовать видеокамеру, помещенную в простейшую конструкцию типа водолазного колокола, – открытую снизу трубу с поддувом аргона сверху. Когда расплав натрия был вытеснен, операторы с помощью видеосвязи смогли навести захват механизма, и гнутая сборка была успешно извлечена».

Активная зона реактора на быстрых нейтронах устроена подобно луковице, слоями 370 топливных сборок образуют три зоны с различным обогащением по урану-235 – 17, 21 и 26% (изначально зон было только две, но, чтобы выровнять энерговыделение, сделали три). Они окружены боковыми экранами (бланкетами), или зонами воспроизводства, где расположены сборки, содержащие обедненный или природный уран, состоящий в основном из изотопа 238. В торцах ТВЭЛов выше и ниже активной зоны также расположены таблетки из обедненного урана, которые образуют торцевые экраны (зоны воспроизводства). Тепловыделяющие сборки (ТВС) представляют собой собранный в одном корпусе набор тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) – трубочек из специальной стали, наполненных таблетками из оксида урана с различным обогащением. Чтобы ТВЭЛы не соприкасались между собой, и между ними мог циркулировать теплоноситель, на трубочки навивают тонкую проволоку. Натрий поступает в ТВС через нижние дросселирующие отверстия и выходит через окна в верхней части.

В нижней части ТВС расположен хвостовик, вставляемый в гнездо коллектора, в верхней – головная часть, за которую сборку захватывают при перегрузке. Топливные сборки различного обогащения имеют различные посадочные места, поэтому установить сборку на неправильное место просто невозможно.

Для управления реактором используется 19 компенсирующих стержней, содержащих бор (поглотитель нейтронов) для компенсации выгорания топлива, 2 стержня автоматического регулирования (для поддержания заданной мощности), а также 6 стержней активной защиты. Поскольку собственный нейтронный фон у урана мал, для контролируемого запуска реактора (и управления на малых уровнях мощности) используется «подсветка» – фотонейтронный источник (гамма-излучатель плюс бериллий).

Энергоблоки с реакторами на быстрых нейтронах могут существенно расширить топливную базу атомной энергетики и минимизировать радиоактивные отходы за счет организации замкнутого ядерно-топливного цикла. Подобными технологиями обладают лишь некоторые страны, и РФ, по признанию экспертов, является мировым лидером в этой области.

Проект реактора БН-1200

Реактор БН-800 (от «быстрый натриевый», электрической мощностью 880 мегаватт) — опытно-промышленный реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, натрием. Он должен стать прототипом коммерческих, более мощных энергоблоков с реакторами БН-1200.

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 отводится 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.

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В СИСТЕМЕ «МЕДИАЛОГИЯ ИНЦИДЕНТ»

Конюхова Е.С.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, windaaa@mail.ru

Аннотация. «Медиалогия Инцидент» – система реагирования на публикации в социальных сетях, специализирующаяся на мониторинге и анализе информации из СМИ и Соцмедиа, активно применяется в рамках реализации коммуникационной стратегии оперативного реагирования и предоставления «обратной связи» между органами исполнительной власти и жителями региона. В данном исследовании отражены результаты проведенного анализа действующей системы, который позволил выявить достоинства и недостатки обработки данных.

Ключевые слова: социальные сети, информационная система, аналитика СМИ, автоматизация процесса, информирование в сети.

Abstract. «Medialogia Incident» is a system for responding to publications in social networks, specializing in monitoring and analyzing information from the media and Social Media, and is actively used as part of the implementation of a communication strategy for rapid response and providing "feedback" between executive authorities and residents of the region. This study reflects the results of the analysis of the current system, which made it possible to identify the advantages and disadvantages of data processing.

Keywords: social networks, information system, media analytics, process automation, online information.

Система «Медиалогия Инцидент» позволяет реагировать на публикации в социальных сетях и специализируется на мониторинге и анализе информации из СМИ и Соцмедиа. Она обеспечивает решение таких задач:

- Мониторинг сообщений в социальных медиа;
- Быстрое реагирование на найденные сообщения в социальных медиа;
- Обработку найденных сообщений по регламентированному бизнес-процессу;
- Многопользовательская и автоматизированная обработка большого объема публикаций;
- Автоматическая и ручная публикация ответа на сообщение;
- Интеграция обработки сообщений с внутренними системами;
- Распределение на ответственных;
- Контроль сроков реагирования;
- Аналитику обработанных данных, качества и скорости работы сотрудников [1].

Аналитический модуль системы позволяет определять упоминания компании, персоны, бренда на основе специально составленного лингвистического запроса с учётом всех словоформ, синонимов, сокращений, вариантов написаний. Определять тему сообщения и его параметры, такие как аудитория, вовлеченность и другие, а также находить связанные сообщения на основе специально составленных запросов к хранилищу данных [1].

Система «Медиалогия Инцидент» применяется в рамках реализации коммуникационной стратегии оперативного реагирования и предоставления «обратной связи» между органами исполнительной власти и жителями региона. С этой целью в ноябре 2020 года по указу Президента Владимира Путина Кузбасс включен в пилотный проект по созданию центров управления регионом. К основным задачам ЦУР относятся:

- Структурирование и формализация сути обращений и сообщений (жалоб) жителей;
- Предоставление ответов на обращения и сообщения (жалобы);
- Контроль сроков и качества обработки обращений и сообщений (жалоб) жителей, поступающих по указанным каналам связи;
- Сбор информации об удовлетворенности жителей результатами обработки их обращений и сообщений (жалоб);
- Анализ результатов обработки обращений и сообщений (жалоб) жителей в настраиваемых статистических разрезах [2].

АИС «Медиалогия Инцидент» построена по принципу Zero Inbox, это когда все входящие сообщения всегда полностью разобраны: удалены или переведены дальше в работу. Этот принцип обеспечивает быструю параллельную обработку всех поступающих сообщений несколькими пользователями. Базовые этапы бизнес-процесса включают:

- Новые – все свежие сообщения. Поиск сообщений осуществляется по заданным темам, в социальных медиа;
 - Отобранные – сообщения, выбранные модераторами для последующей обработки, заведение нового или объединение с текущим инцидентом;
 - Инцидент – сообщения, взятые в работу. Начало работы по подготовке ответа, возможно с запросом дополнительной информации;
 - Согласование – шаг согласования и публикации ответа по инциденту;
 - Ожидание – шаг получения дополнительной информации от автора;
 - Оценка обратной связи – шаг контроля удовлетворённости по инциденту;
 - Готово – решенные инциденты, с положительным или отрицательным комментарием инициатора;
 - Удаленные – отклоненные сообщения, не требующие последующей реакции[1].
- Интерфейс пользователя системы представлен на рисунке 1.

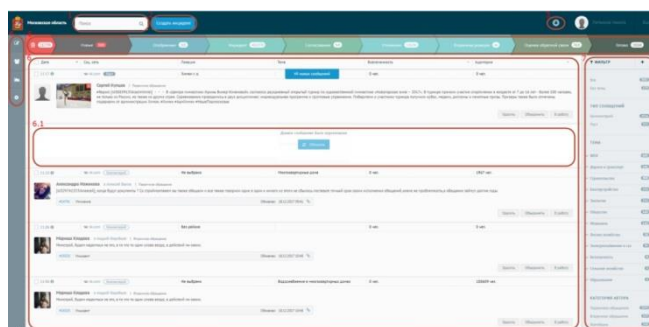


Рисунок 1 - Интерфейс пользователя АИС «Медиалогия Инцидент»

К базовым ролям – участникам системы относятся кураторы и исполнители. Кураторы в системе занимаются распределением инцидентов по ответственным органам власти, осуществляют согласование ответов, контролируют работу исполнителей. Исполнители – запускают процедуру решения вопроса и готовят ответ, который будет размещен в социальной сети.

На шаге Новые представлены все поступающие в систему сообщения. Сортировка по умолчанию по дате публикации, от самого свежего. Основными сложностями работы на данном этапе является наличие экспертизы кураторов, которым необходимо вычлениить суть обращения, а также обеспечить перенаправление к специалистам, осуществляющим работу с данной проблемой. Зачастую вопросы от жителей региона поступают без конкретики, и требуется дополнительно уточнять информацию по существу.

Создание инцидента в АИС «Медиалогия Инцидент» происходит после заполнения обязательных полей:

- Тема – тема, к которой относится сообщения. Требуется для последующего учёта в статистике и правильного автоматического назначения;
- Категория – подтема, к которой относится инцидент: вопрос, жалоба, благодарность. Возможны другие категории, т.к. они настраиваются под клиента;
- Важность – приоритет обработки, выбранный параметр влияет на сроки обработки инцидента;
- Локация – территориальная привязка сообщения [1].

К обязанностям исполнителя относится постоянный мониторинг системы на наличие новых Инцидентов и соблюдение регламента их обработки. На данном этапе основной проблемой является отсутствие навыков ведения диалога в социальных сетях у спе-

циалистов. Шаблонные ответы, отягощенные канцеляризмами не подходят для коммуникации в интернет-пространстве, поэтому специалистами ЦУР проводится обучение исполнителей, работающих в системе «Медиалогия Инцидент».

Для работы с обращениями граждан через социальные сети муниципальные подразделения и организации создали профильные аккаунты, позволяющие вести прямую коммуникацию с жителями региона в рамках информационных площадок социальных сетей, рисунок 2.

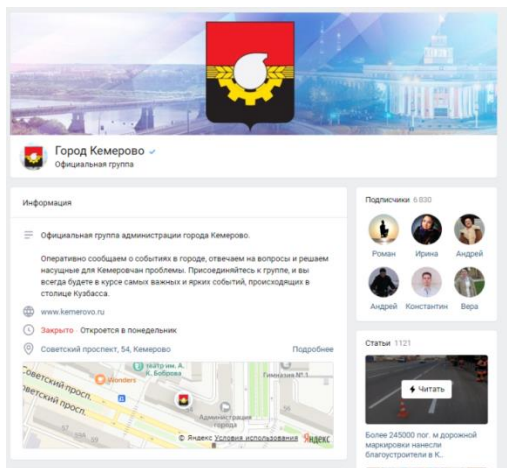


Рисунок 2. Официальный аккаунт МО город Кемерово в социальной сети Вконтакте

Основным недостатком в работе АИС «Медиалогия Инцидент» можно считать отсутствие модуля проверки ответа «Правописание и пунктуация». На текущий момент на этапе «Согласование» кураторы системы вынуждены проверять ответ, загруженный в систему не только на предмет корректности, полноты информации и предоставления её по существу, но и производить сверку орфографии, что занимает дополнительное время и увеличивает срок предоставления ответа. Норматив получения ответа на заявку – 24 часа. Пример отчета представлен на рисунке 3.

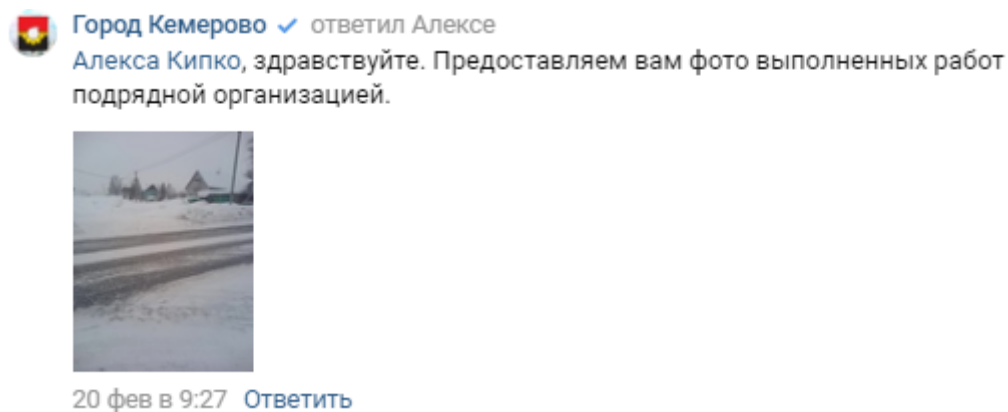


Рисунок 3. Ответ на обращение, поступившее через систему «Медиалогия Инцидент» в социальной сети Вконтакте

Раздел системы «Статистика» содержит данные обработки инцидентов и основные показатели работы сотрудников в системе за выбранный период. В системе доступно три ракурса:

- Сводный анализ;
- Сотрудники;
- Инциденты;
- SLA[1].

Заключение

АИС «Медиалогия Инцидент» позволяет обеспечивать оперативное реагирование на публикации в социальных сетях, вести мониторинг и анализ информации из СМИ и Соцмедиа. В Кузбассе данная система применяется в рамках реализации коммуникационной стратегии оперативного реагирования и предоставления «обратной связи» между органами исполнительной власти и жителями региона. В рамках проведенного анализа удалось установить недостаток в работе «Медиалогии Инцидент», а именно отсутствие модуля проверки ответов перед публикацией. Сейчас данная функция не автоматизирована, что увеличивает SLA ответа.

Библиографический список

1. Корпоративная wiki страница «Администрация города Волгодонск» [Электронный ресурс][Электронный ресурс]: Руководство пользователя — Режим доступа: <https://vlgd61.ru/> (дата обращения: 09.09.2021).
2. Портал «Медиалогия» [Электронный ресурс]: Продукты — Режим доступа: <https://www.mlg.ru/> (дата обращения: 09.09.2021).
3. Губанов, Д. А., Новиков, Д. А., Чхартишвили, А. Г. Модели влияния в социальных сетях (обзор) // Управление большими системами. - 2009. - № 27. – С 205-281.

ОЦЕНИВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ

Гизатулин Р.А.

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

Аннотация. Разработана математическая модель для оценки процесса восстановления марганца из шлака при обработке металлического расплава на агрегате ковш-печь. Получены промышленные данные, подтверждающие возможность обеспечения достаточно высокого и стабильного извлечения марганца из шлака.

Ключевые слова: сталь, сероочистка, агрегат ковш-печь

Abstract. The mathematical model is designed for estimation of the process of the reconstruction manganese from slag when processing metallic melt on unit scoop-stove. They are received industrial data, confirming carry provision it is enough high and stable extraction manganese from slag.

Ключевые слова: steel, desulfurization, bucket-furnace unit

В современной металлургии большое внимание уделяется проблеме снижения расхода раскислителей и легирующих добавок путем разработки рациональных способов их введения в сталь с одновременным улучшением ее качества за счет снижения концентрации вредных примесей, а также повышения сквозного коэффициента использования легирующего элемента. Одним из путей решения этой проблемы является повышение извлечения легирующего элемента из шлака за счет интенсификации процессов восстановления при обработке расплавов на современных агрегатах ковш-печь, оборудованных различными системами для перемешивания металла и шлака.

При диффузионном режиме протекания реакции восстановления оксида диффузионный поток определяется известным уравнением

$$П = \beta(C - C^*), \quad (1)$$

где β – коэффициент массопереноса, м/с;

C, C^* – концентрация вещества в объеме и на границе раздела фаз, моль/м³.

Коэффициент массопереноса β в соответствии с теорией обновления поверхности

[9] определяется из уравнения

$$\beta = \sqrt{\frac{4DU}{\pi l}}, \quad (2)$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$;

U – скорость конвективного потока, $\text{м}/\text{с}$;

l – характерный размер конвективного потока, м .

При расчете коэффициента массопереноса сделали два допущения:

1. Отношение скоростей потоков металла и шлака обратно пропорционально динамической вязкости

$$\frac{U_{\text{Me}}}{U_{\text{Шл}}} = \frac{\eta_{\text{Шл}}}{\eta_{\text{Me}}}, \quad (3)$$

где η_{Me} , $\eta_{\text{Шл}}$ – динамическая вязкость металла и шлака, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

2. Отношение характерных размеров конвективных потоков металла и шлака прямо пропорционально отношению условных высот металла и шлака

$$\frac{l_{\text{Me}}}{l_{\text{Шл}}} = \frac{h_{\text{Me}}}{h_{\text{Шл}}} = \frac{m_{\text{Me}}\rho_{\text{Шл}}}{m_{\text{Шл}}\rho_{\text{Me}}}. \quad (4)$$

Принятые допущения позволяют учитывать существенные условия протекания процесса – вязкость шлака и его количество.

Скорость окисления кремния при введении на поверхность марганецсодержащего расплава для случаев лимитирования процесса диффузией кремния к поверхности раздела фаз металл/расплавы и оксидов кремния и марганца в марганецсодержащем расплаве можно рассчитать по уравнениям

$$V_{\text{Si}} = -\frac{d[\% \text{Si}]}{d\tau} = \beta_{[\text{Si}]} \{[\% \text{Si}] - [\text{Si}\%]^*\} \frac{S}{V_{\text{Шл}}}, \quad (7)$$

$$V_{\text{Si}} = \beta_{(\% \text{SiO}_2)} \frac{28}{60} \{(\% \text{SiO}_2) - (\text{SiO}_2\%)^*\} \frac{S}{V_{\text{Шл}}}, \quad (8)$$

$$V_{\text{Mn}} = \beta_{(\% \text{MnO})} \frac{28}{142} \{(\% \text{MnO}) - (\text{MnO}\%)^*\} \frac{S}{V_{\text{Шл}}}, \quad (9)$$

где $\beta_{[\text{Si}]}$, $\beta_{(\% \text{SiO}_2)}$, $\beta_{(\% \text{MnO})}$ – коэффициенты массопереноса, $\text{м}/\text{с}$;

$(\% \text{SiO}_2)$, $(\% \text{MnO})$ – концентрация SiO_2 и MnO в шлаке соответственно, $\text{масс.}\%$;

$[\% \text{Si}]$ – концентрация кремния в ферросилиции, $\text{масс.}\%$.

$(\% \text{SiO}_2)^*$, $(\% \text{MnO})^*$ – равновесные концентрации SiO_2 и MnO в шлаке соответственно, $\text{масс.}\%$;

$[\text{Si}]$ – концентрация кремния в ферросилиции, $\text{масс.}\%$;

$[\text{Si}]^*$ – равновесная концентрация кремния, $\text{масс.}\%$;

ρ – поверхность раздела фаз, м^2 ;

$V_{\text{Шл}}$ – объем шлака, м^3 .

Исходя из предположения о равновесии системы на границе раздела фаз равновесные значения концентраций кремния, марганца, SiO_2 , MnO определяются по константам равновесия.

Эта система уравнений решается совместно с уравнением константы равновесия методом последовательных приближений.

Время перемещения капель ферросилиция может быть определено из уравнения, с

$$\tau = \frac{H_{\text{шл}}}{\omega}, \quad (10)$$

где $H_{\text{шл}}$ – высота шлакового расплава, м;
 ω – скорость перемещения частиц, м/с.

Для оценки скорости перемещения жидких капель в шлаковом расплаве использовали формулу Рыбчинского-Адамара [1]

$$V_{\text{ж}} = \frac{2}{3} g \frac{\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{м}}}{\eta_{\text{ш}}} r^2 \frac{\eta_{\text{ш}} + \eta_{\text{м}}}{2\eta_{\text{ш}} + 3\eta_{\text{м}}}, \quad (11)$$

где $\eta_{\text{м}}$ – динамическая вязкость жидкой капли ферросилиция, Па·с;
 $\eta_{\text{ш}}$ – динамическая вязкость оксидного марганецсодержащего расплава, Па·с;
 r – радиус частиц металла, м;
 g – ускорение свободного падения, м/с;
 $\rho_{\text{м}}$ – плотность капли, кг/м³;
 $\rho_{\text{ш}}$ – плотность шлака, кг/м³.

Довосстановление оксидов марганца, находящихся в оксидном марганецсодержащем расплаве идет на границе сталь – оксидный расплав. В этом случае скорость окисления кремния может быть описана уравнением

$$V_{\text{Si}} = -\frac{d[\%Si]}{d\tau} = \beta_{[\text{Si}]} \{[\%Si] - [\text{Si}]^*\} \frac{S}{V_{\text{шл}}}, \quad (12)$$

где $\beta_{[\text{Si}]}$ – коэффициент массопереноса кремния, м/с;
 $[\%Si]$ – концентрация кремния в стали, масс.%;
 $[\text{Si}]^*$ – равновесная концентрация кремния, масс. %.

Скорость растворения дисперсных частиц извести определяется законами конвективной диффузии [4, 7], в частности уравнением

$$\frac{d(\text{CaO})}{d\tau} = \beta_{(\text{CaO})} \{(\text{CaO})_{\text{нас}} - (\text{CaO})\} \frac{S}{V}, \quad (13)$$

где $(\text{CaO})_{\text{нас}}$ и (CaO) – концентрация оксида кальция в шлаке соответственно у поверхности кусков извести (концентрация насыщения) и в основной массе шлака;

S – суммарная поверхность кусков извести, м²;
 V – объем шлака, м³.

Суммарная поверхность для частиц сферической формы может быть выражена уравнением [7]

$$S = \frac{6M}{d\rho_{\text{тв}}}, \quad (14)$$

где M – общая масса частиц, кг;
 $\rho_{\text{тв}}$ – плотность частиц, кг/м³;
 d – диаметр частиц, м.

Для моделирования процесса перемешивания применена модель последовательно расположенных ванн [4]. Изменение во времени концентрации вещества C для последующих ванн выражается уравнением

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{Q}{V_m} (\rho_{i-1} C_{i-1} - \rho_i C_i) \bar{\beta}_i, \quad (15)$$

где ρ_i и ρ_{i-1} – плотность металла в i -ой и $i-1$ последовательной ванне, кг/м³;

Q – поток металла между ваннами, $\text{м}^3/\text{с}$;

V_m – объем одной ванны, м^3 ;

$\bar{\beta}_i$ – коэффициент массопереноса вещества через пограничный слой металл-шлак,

$\bar{\beta}_i = \beta_i \cdot P$ (где P – величина, численно характеризующая мощность перемешивание расплава), $\text{м}/\text{с}$.

Структурная схема модели представлена на рисунке 2.

Исходными данными для начала работы системы «Прямое легирование» служат:

– параметры состояния металла: масса на момент времени τ_1 , кг; температура, $^{\circ}\text{C}$, состав ($[\text{Mn}]$, $[\text{Si}]$), масс. %;

– параметры состояния шлака: масса окислительного шлака на момент времени τ_1 , кг; основность, единицы; состав ((MnO) , (SiO_2) , (CaO) , (MgO) , (Al_2O_3)), масс. %;

– состав марганцевой руды ((MnO) , (SiO_2) , (FeO) , (CaO) , (MgO) , (Al_2O_3) , ппп), масс. %, масса руды; кг;

– химический состав кокса: содержание углерода, масс.%; зольность; влага, летучие, масс. %;

– химический состав золы кокса, масс.%;

– параметры ферросилиция, вводимого в печь: химический состав, масс. %; масса, кг; размер куска, м;

– параметры футеровки: масса смываемой за плавку футеровки, кг; состав (MgO), масс. %;

– параметры извести: масса извести, кг; время полного растворения извести в шлаке, мин; состав извести ((MgO) , (SiO_2) , (CaO) , (Al_2O_3) , ППП), масс. %;

– параметры агрегата, диаметр ванны на уровне шлакового пояса, м, глубина ванны, м;

– дискретность выполнения расчетов, с.

Для доказательства адекватности модели провели опытные плавки на агрегате «ковш-печь» АО «ЕВРАЗ-ЗСМК». Плавление и окислительный период плавки проводили в соответствии с действующей в цехе технологической инструкцией. После выпуска плавки из печи ковш с металлом подавали на агрегат «ковш-печь», где производили присадку марганцево-рудных материалов разовыми порциями по 200 – 400 кг. Общий расход марганцевой руды определялся содержанием марганца в готовой стали. Сразу после расплавления марганцевой руды на поверхность оксидного расплава в районе дуг рассыпали коксовую мелочь. Расход коксовой мелочи зависел от расхода марганцево-рудных материалов: при расходе марганцево-рудных материалов в количестве 200 – 400 кг составлял 40 – 50 кг, а при расходе марганцево-рудных материалов 500 – 700 кг – 60 – 70 кг, при расходе марганцево-рудных материалов более 800 кг – 70 – 100 кг.

В ходе экспериментов контролировали химический состав стали путем отбора проб металла и шлака с хронометрированием всех технологических операций.

В качестве марганцевой составляющей использовали марганцевую руду, содержащую 47,25 % MnO , 1,69 % CaO , 23,14 % SiO_2 , 14,42 % FeO , 0,19 % MgO , 1,18 % Al_2O_3 , 0,07 % P , 5,46 % ппп.

Для повышения основности шлака использовали известь состава: 80 % CaO , 5 % SiO_2 , 3 % MgO , 2 % Al_2O_3 , ппп – 10 %.

Исходные данные каждой плавки были введены для расчета в программу «Прямое легирование». Результаты изменения содержания марганца и кремния по ходу некоторых плавок в отобранных пробах металла и содержание марганца и кремния, полученные расчетным путем для тех же контрольных точек по времени, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение содержания марганца и кремния по ходу плавки при выплавке стали марки 25Г2С

№ плавки	№ * пробы	Опытные плавки		Расчетные данные		Невязка	
		Mn	Si	Mn	Si	Mn	Si
1	1	0,98	0,85	1,01	0,90	0,02	0,05
	2	1,11	0,75	1,15	0,70	0,04	0,04
	3	1,35	0,69	1,36	0,74	0,01	0,05
	4	1,45	0,66	1,46	0,70	0,01	0,04
	5	1,47	0,64	1,46	0,70	0,01	0,06
2	1	0,94	0,86	0,98	0,92	0,04	0,06
	2	1,07	0,77	1,12	0,80	0,05	0,03
	3	1,31	0,63	1,33	0,70	0,02	0,06
	4	1,39	0,61	1,41	0,68	0,02	0,07
	5	1,42	0,60	1,41	0,68	0,02	0,08
3	1	1,22	1,10	1,18	0,72	0,04	0,03
	2	1,29	0,89	1,25	0,82	0,04	0,07
	3	1,37	0,79	1,33	0,77	0,02	0,02
	4	1,47	0,70	1,48	0,75	0,01	0,05
	5	1,47	0,70	1,48	0,75	0,01	0,05
4	1	0,91	0,89	0,94	0,90	0,03	0,01
	2	1,10	0,81	1,12	0,82	0,02	0,01
	3	1,34	0,78	1,35	0,75	0,01	0,02
	4	1,37	0,64	1,42	0,72	0,05	0,08
	5	1,42	0,64	1,42	0,72	0,01	0,08

* - пробы 1, 2, 3, 4, 5 – рафинировочные, взятые через 10, 20, 30, 40 и 60 мин после при-
садки ферросилиция.

Невязка содержания для марганца равна 0,01 – 0,04 %, а для кремния 0,01 – 0,08 %. Относительная ошибка составляет 2 – 4 % для марганца, а для кремния – 6 – 8 %, что находится в допустимых пределах (не более 10 %).

Таким образом, можно сказать, что разработанная модель адекватно отражает основные особенности рассматриваемого процесса и позволяет спрогнозировать процесс прямого легирования стали с использованием оксидного марганецсодержащего сырья.

Библиографический список

1. Григорян В. А., Белянчиков Л. Н., Стомахин А. Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Metallurgy, 1979, с. 115–120; с. 103–107.
2. Григорян В. А., Стомахин А. Я., Пономаренко А. Г. и др. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов. М.: Metallurgy, 1989. 288 с.
3. Казачков Е. А. Расчеты по теории металлургических процессов. М.: Metallurgy, 1988, с. 174–179; с. 209–219.
4. Маханьков А.В., Колпак В.П., Нохрина О.И. Расчет термодинамических характеристик системы CaO – SiO₂ – MnO. Изв. вузов. ЧМ. 2002. № 10. С. 3 – 5.
5. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов Киев; Донецк: Вища шк. Головн. изд-во, 1986. 280 с.
6. Нохрина О.И., Наймушин В.В. Математическая модель восстановления марганца из расплава в печи // Наука и молодежь на рубеже тысячелетий. Новокузнецк, 2000. С. 142 - 143.
7. Нохрина О.И., Дмитриенко В.И., Наймушин В.В. Математическое моделирование процессов взаимодействия кремния с оксидным марганецсодержащим расплавом при прямом легировании стали. // Изв. вузов. ЧМ. 2004. № 4. С. 18 – 20.

ОСОБЕННОСТИ СИТУАЦИОННО-НОРМАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НОРМ ВЫРОБОТКИ (НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЕНИЯ МЕДНЕНИЯ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА)

Кулаков С.М., Мусатова А.И.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kulakov-ais@mail.ru

Аннотация. Сформирована формульно-алгоритмическая нормативная модель функционирования технологической линии, рассчитаны технически возможные и нормативные значения тактов работы и производительности линии. Разработана нормативная ситуационная комплексная модель функционирования отделения меднения, учитывающая количество линий, количество используемых «ниток» проволоки на каждой из них для расчета многовариантных технически возможных и нормативных значений производительности системы.

Ключевые слова: процесс меднения, стальная проволока, мотки, нормативы, модели, такт, производительность.

Abstract. Formula-algorithmic normative model of the technological line functioning has been formed, technically possible and normative values of operation cycles and line productivity have been calculated. A normative situational complex model for the functioning of the copper plating department has been developed, taking into account the number of lines, the number of wire "threads" used on each of them to calculate the multivariate technically possible and standard values of the system performance.

Keywords: copper plating process, steel wire, coils, standards, models, cycle, productivity.

В исследуемом отделении меднения параллельно функционируют две технологические линии, на которых осуществляется процесс нанесения на поверхность стальной проволоки слоя меди химическим контактным способом. Каждая линия состоит из последовательно расположенных семи ванн: шесть – с погружающими барабанами и направляющими роликами, последняя – специальная, с волокодержателем и волоками. Входной материальный поток начинается от участка тонкого волочения (рисунок 1). Катушки с проволокой массой 1 т подаются партиями мостовым краном от волочильных станков типа 7/350 на передаточную тележку, транспортируются в отделение меднения, где разгружаются на площадку временного складирования, откуда поочередно подаются краном на размоточное устройство, состоящее из 24 вертикальных разматывателей. После установки катушки рабочий-оператор протягивает передний конец проволоки через все ванны и закрепляет ее на намоточном аппарате, включает его для формирования готового мотка в разъемной кассете.

Процессу обработки проволоки в ванне с раствором медного купороса предшествуют процессы в ваннах для: обезжиривания проволоки в щелочном растворе, промывания ее в горячей воде, химического подтравливания в растворе соляной кислоты и промывания в холодной воде. После меднения проволока окончательно промывается в ванне с водой, подвергается процессу волочения (для полировки и уплотнения медного покрытия) и наматывается на кассету. После наполнения кассеты рабочий отрезает проволоку от готового мотка, переводит и закрепляет новый конец на пустую кассету и процесс меднения продолжается.

Параллельно технологическому процессу рабочий производит сварку концов проволоки выработанной и очередной катушки, увязывает готовый моток, снимает его с кассеты на площадку и откатывает на стеллаж, где навешивает бирку. Затем партия мотков подается краном на площадку, где рабочие упаковывают каждый моток, формируют партии для отгрузки их на склад готовой продукции.

Сложность организации материальных потоков в отделении заключается в том, что на каждой технологической линии одновременно и синхронно обрабатываются 24 «нитки» проволоки в семи последовательно расположенных ваннах. Затем «нитки» про-

тягиваются до намоточных аппаратов, на которых формируются 24 мотка омедненной проволоки диаметром от 0,8 до 2,0 мм и весом $10 \div 80$ кг.

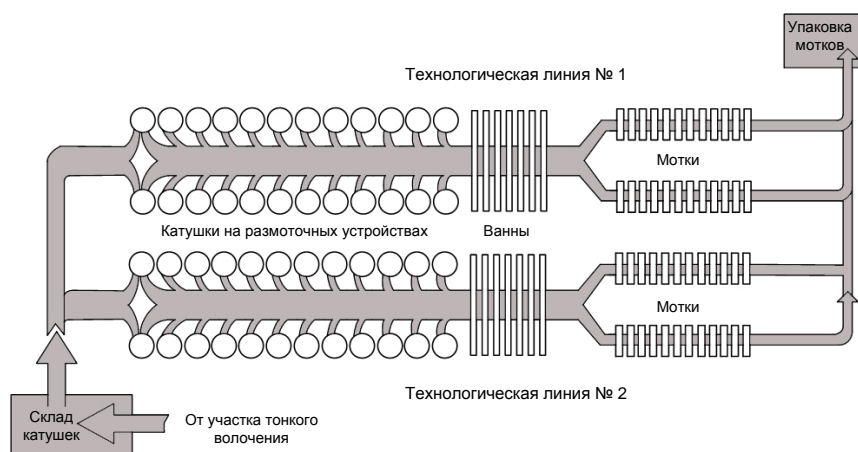


Рисунок 1– Схема организации материальных потоков в отделении меднения проволоки

В отделении меднения каждую технологическую линию обслуживает бригада рабочих, которая выполняет (кроме перечисленных выше) следующие функции: корректирование температуры растворов в ваннах, контроль состава электролитов, замена и установка катушек, нарезка проволоки для обвязки готовых мотков, смена роликов, барабанов, тормозных колодок, протиров; наладка и контроль технологического процесса в ваннах; доставка необходимых деталей к рабочему месту и другие.

При нормировании длительности производственных операций предварительно изучалась и анализировалась существующая организация материальных потоков в отделении меднения (их непрерывность и параллельность), степень загрузки и согласованности в работе механизмов, агрегатов; организация труда рабочих-операторов (уровень механизации ручного труда, степень участия и влияния на протекание производственного процесса).

Для определения нормативной производительности отделения меднения и норм выработки производственных рабочих предварительно выполнено вербальное описание производственных операций, включающее: наименование, фиксажные точки начала и окончания каждой операции, вид и параметры используемого оборудования, характер операции. Осуществлена структуризация текущих простоев технологических линий. Построены математические модели, характеризующие многовариантную работу технологической линии меднения, которые далее используются для построения алгоритма оценивания производительности линии (рисунок 2).

На базе алгоритма разработана нормативная ситуационная модель функционирования отделения меднения для определения следующих показателей:

- нормы времени на выполнение рабочим ручных циклических операций с декомпозицией их на элементы и микроэлементы (приемы, действия, движения);
- машинное время меднения проволоки (технически возможное и нормативное) с учетом скоростных режимов намоточных аппаратов;
- нормативы длительности простоев технологической линии;
- нормативные коэффициенты использования оборудования (технологической линии) и нестабильности выполнения рабочим ручных операций;
- технически возможные и нормативные такты работы линии при изготовлении единицы продукции (мотка) с учетом скорости намоточного аппарата, диаметра и массы готового мотка;
- технически возможные и нормативные производительности технологической линии на единицу продукции с учетом вышеперечисленных факторов;

- нормативный фонд времени работы отделения меднения;
- многовариантные часовые и сменные производительности (технически возможные и нормативные) отделения меднения при работе двух линий с учетом скоростных режимов намоточных аппаратов, одновременности изготовления мотков («ниток») на каждой технологической линии, диаметра и массы готовых мотков;
- нормативное количество рабочих для обслуживания технологической линии в смену (при одновременном изготовлении 24 мотков) в зависимости от скорости намотки, диаметра и массы мотка.

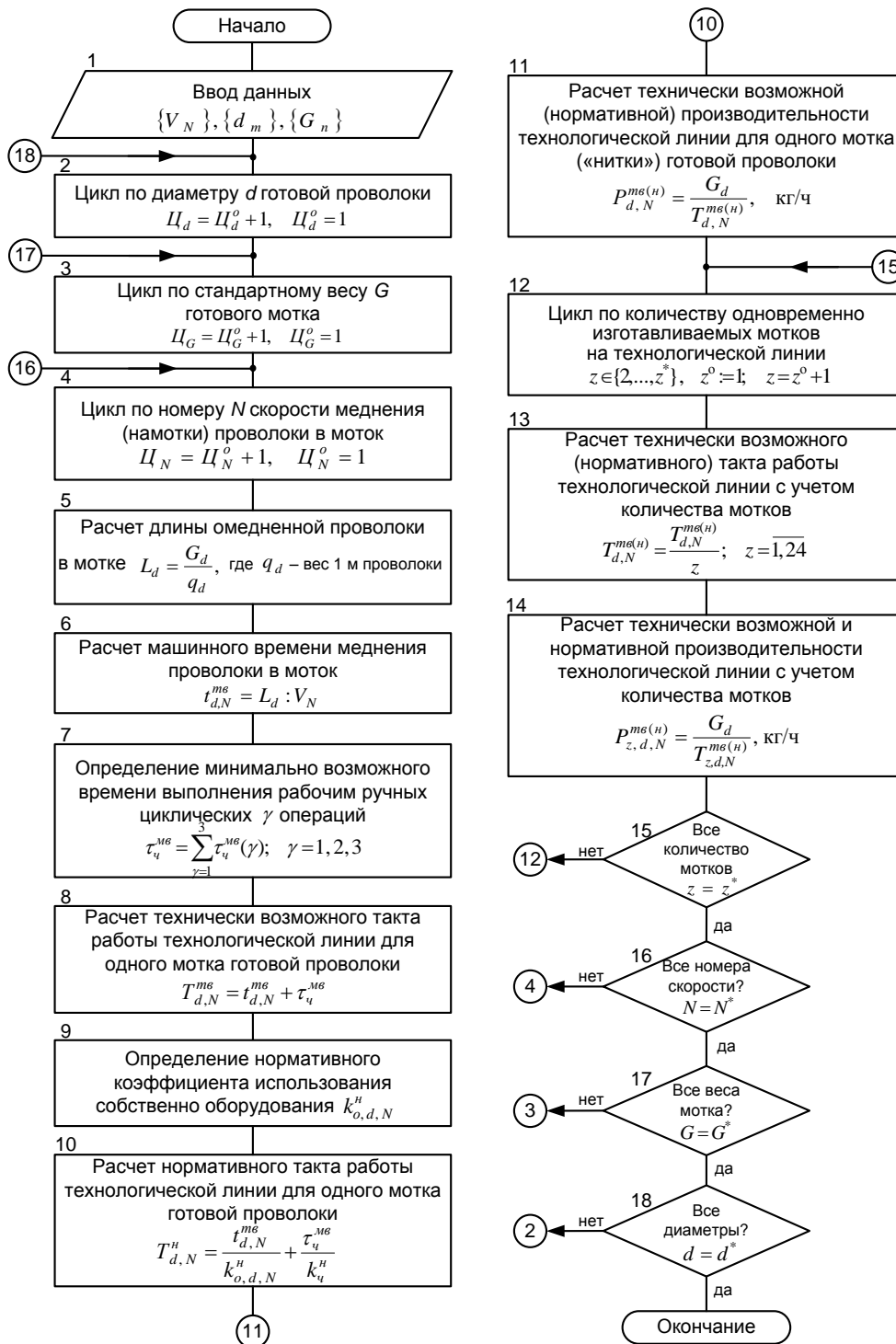


Рисунок 2 – Алгоритм расчета нормативной производительности технологической линии меднения

Особенностью работы технологической линии является непрерывность процесса меднения. То есть проволока до окончания формирования момента готовности мотка безостановочно проходит последовательно сначала все операции в ваннах (обезжиривания, горячей промывки, травления, холодной промывки, собственно меднения, окончательной промывки), а затем процесс волочения для полировки медного покрытия.

Таким образом, процесс меднения происходит параллельно формированию проволоки в моток, поэтому такт работы технологической линии (технически возможный и нормативный) $\dot{O}_{d,N}^{\dot{\delta}a(i)}$ для изготовления одного мотка (рисунок 2, блоки 5–10) состоит из машинного времени меднения (намотки проволоки в моток) $t_{d,N}^{\dot{\delta}a(i)}$, минимально возможного и нормативного времени выполнения рабочим ручных циклических операций $\tau_{\dot{\gamma}}^{ia(i)}$, неперекрываемых машинным временем:

$$\dot{O}_{d,N}^{\dot{\delta}a(i)} = t_{d,N}^{\dot{\delta}a(i)} + \tau_{\dot{\gamma}}^{ia(i)}, \text{ ч.} \quad (1)$$

На машинное время меднения проволоки влияют факторы:

- скорость намоточного аппарата $\{V_N, N = 1, 2, \dots, N^*\}$;
- диаметр проволоки $\{d_m, m = 1, 2, \dots, m^*\}$;
- масса мотка $\{G_n, n = 1, 2, \dots, n^*\}$,

где N, m, n – порядковые номера (индексы) перечисленных факторов.

При этом выбор скорости намотки определяется качеством поверхности проволоки и концентрацией раствора медного купороса.

Длительность ручных операций устанавливалась на основе обработки хронометражных наблюдений и комплексного нормирования длительности элементов и микроэлементов операций:

$$\tau_{\dot{\gamma}}^i = \frac{\sum_{\gamma=1}^{i\dot{a}} \tau_{\dot{\gamma}}^{i\dot{a}}}{k_{\dot{\gamma}}^i}, \text{ ч,} \quad (2)$$

где $k_{\dot{\gamma}}^i$ – нормативный коэффициент нестабильности выполнения рабочим ручных операций;

γ – порядковый номер элемента операции, $\gamma = 1, 2, \dots, \gamma^*$.

Исходя из предлагаемого авторами тактового подхода производительность отделения меднения как производственной системы (ПС) определяется на основе единого такта его работы с учетом функционирования заданного количества технологических линий (подсистем) и количества используемых «ниток» проволоки на каждой из них. При этом производственные ситуации в зависимости от заказов на определенные виды продукции различаются: скоростными режимами работы технологических линий, количеством одновременно формируемых мотков проволоки, массой каждого мотка и диаметром проволоки.

Примеры обоснования нормативной численности рабочих и производительности линии меднения показаны в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Обоснование численности рабочих технологической линии по ситуациям

Показатели, определяющие численность рабочих	Нормативные значения показателей за смену (12 ч)					
	d = 1,6 мм				d = 1,2 мм	
	G = 20 кг		G = 80 кг		20 кг	80 кг
	Номер скорости намоточного аппарата					
	N = 2	N = 4	N = 2	N = 4	N = 3	N = 4
1. Занятость рабочего: – при разгрузке и подаче партии катушек на склад, мин	65,58	103,69	65,58	103,69	50,33	57,96
– при подаче катушек со склада до размоточного устройства, мин	31,35	48,78	31,35	48,78	24,38	27,87
– при снятии пустых катушек с размоточного устройства, мин	24,77	38,07	24,77	38,07	19,03	21,75
2. Время подготовки рабочим: – новых катушек к разматыванию, мин	49,80	77,46	49,80	77,46	38,74	44,26
– готовых мотков к упаковке, ч	28,22	41,92	7,17	10,69	19,97	6,02
3. Время активного наблюдения рабочим за процессом, мин	28,62	28,62	25,36	25,38	29,35	22,56
4. Общее время занятости рабочего по обслуживанию 24 «ниток», ч	31,55	46,86	10,44	15,58	22,66	8,92
5. Время регламентированных перерывов и вспомогательных работ, ч	3,58	3,75	2,58	2,62	3,17	2,42
6. Фонд времени работы технологической линии в смену, ч	8,42	8,25	9,42	9,38	8,83	9,58
7. Количество разгружаемых катушек, шт.	9	14	9	14	7	8
8. Количество изготавливаемых мотков в смену, шт.	441	655	112	167	312	94
9. Необходимое количество рабочих для обслуживания 24 «ниток», чел	4	6	2	2	3	1
10. Количество «ниток», обслуживаемых одним рабочим, шт.	6	4	12	12	8	24

Таблица 2 – Обоснование нормативной производительности линии и нормы выработки

Диаметр проволоки и масса готового мотка	Номер скорости меднения	Такт процесса меднения проволоки на моток, мин		Нормативный коэффициент использования линии	Нормативная производительность линии, кг/ч		Фонд времени за смену, ч	Норма выработки, т/смена (смена – 12 ч)	
		технически возможный	нормативный		на 1 моток	на 24 мотка		на одну линию	на две линии
d = 1,6 мм G = 20 кг	2	32,39	35,59	0,91	33,72	809,28	8,42	6,81	13,62
	4	21,82	24,24	0,90	49,50	1188,00	8,25	9,80	19,60
d = 1,6 мм G = 80 кг	2	127,50	134,21	0,95	35,77	858,42	9,42	8,09	16,18
	4	85,23	90,67	0,94	52,94	1270,58	9,38	11,92	23,84
d = 1,2 мм G = 20 кг	2	57,05	64,10	0,89	18,72	449,28	8,93	4,01	8,02
	4	38,26	42,99	0,88	27,13	651,12	8,78	5,72	11,44
d = 1,2 мм G = 80 кг	2	226,16	251,29	0,90	19,08	457,92	9,58	4,39	8,78
	4	151,00	169,66	0,89	28,29	678,96	9,58	6,50	13,00

С целью определения норм выработки предварительно составлена модель для обоснования необходимого количества рабочих-операторов в бригадах за смену (12 ч), обслуживающих технологические линии меднения. Многообразие ситуаций на линиях меднения и в отделении в целом позволяет оптимально распределять загрузку технологических линий и рационально использовать рабочих при планировании и оперативном управлении производственным процессом. Результаты моделирования для конкретного отделения меднения метизного производства фрагментарно приведены в таблицах 71, 72.

Библиографический список

1. Кулаков С. М., Мусатова А. И., Кадыков В. Н. Ситуационные модели производительности человеко-машинных систем (на примере волочильных станков) // Известие высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. № 6. С. 485–489.
2. Мусатова А. И., Кулаков С. М. Оптимизация работы операторов-волочильщиков в режиме многостанового обслуживания // Научное обозрение. 2014. № 8-3. С. 980–986.
3. Мусатова А. И., Кулаков С. М. Тактовый подход к разработке нормативной модели производительности травильного отделения метизного производства // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 95 – 99.
4. Мусатова А. И., Кулаков С. М. Разработка нормативной модели функционирования термического отделения метизного производства // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 95–99.

ОБЗОР ПРОГРАММ КЛАССА SIEM ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В БАНКОВСКОЙ СФЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Барышникова К.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия*

***Аннотация.** В последние годы вопросы защиты информации в банковской сфере деятельности обретают особую остроту. Это связано с многими факторами, в том числе с повышением общих требований к безопасности и качеству оказываемых услуг клиентам. В статье сделан обзор программ класса siem для управления инцидентами защиты информации в банковской деятельности.*

***Ключевые слова:** защита информации, управление инцидентами, оказание услуг, процессный подход.*

***Abstract.** In recent years, information security issues in the banking sector have become particularly acute. This is due to many factors, including an increase in general requirements for the safety and quality of services provided to customers. The article provides an overview of siem class programs for managing information security incidents in banking.*

***Keywords:** information protection, incident management, service provision, process approach.*

В последние годы Центральный банк Российской Федерации (далее – ЦБ РФ) усилил контроль за тем, как финансовые организации выстраивают защитные меры внешнего и внутреннего периметра.

Основные цели, которые ЦБ РФ преследует:

1. Обеспечение киберустойчивости:
 - a. Контроль показателей риска реализации информационных угроз,
 - b. Обеспечение непрерывности предоставления финансовых и банковских услуг,
 - c. Контроль уровня операций, совершенных без согласия клиентов (фродовые операции).
2. Защита потребителей финансовых услуг:

а. Мониторинг и контроль показателей, характеризующих уровень финансовых потерь.

3. Содействие развитию инновационных финансовых технологий

а. Контроль риска реализации информационных угроз,

б. Реализация необходимого уровня информационной безопасности.

Для достижения этих целей ЦБ РФ выпустил и внес изменения в ряд нормативно-правовых актов, чтобы унифицировать применяемые защитные средства в финансовых организациях.

Кредитные организации должны обеспечить реализацию следующих уровней защиты информации для объектов информационной инфраструктуры, используемых для обработки, передачи, хранения защищаемой информации в целях осуществления банковских операций, определенных национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 57580.1-2017 "Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер", утвержденным приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 августа 2017 года N 822-ст "Об утверждении национального стандарта" (М., ФГУП "Стандартинформ", 2017) [1,2].

Помимо этого, кредитные организации должны обеспечить уровень соответствия не ниже третьего в соответствии с ГОСТ Р 57580.2-2018 с 1 января 2021 года. Кредитные организации должны обеспечить уровень соответствия не ниже четвертого в соответствии с ГОСТ Р 57580.2-2018 с 1 января 2023 года [1].

Способом проверки соответствия защиты информации является оценка выбора и реализации финансовой организацией организационных и технических мер защиты информации в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57580.1 независимой организацией, обладающей необходимым уровнем компетенции [3]. Уровни соответствия процессов системы ЗИ представлены ниже.

Таблица 1 – Качественная оценка уровня соответствия процессов системы ЗИ

E_i	Уровень соответствия
$E_i = 0$	Нулевой
$0 < E_i \leq 0,5$	Первый
$0,5 < E_i \leq 0,7$	Второй
$0,7 < E_i \leq 0,85$	Третий
$0,85 < E_i \leq 0,9$	Четвертый
$0,9 < E_i \leq 1$	Пятый

ГОСТ Р 57580.1 содержит базовый состав организационных и технических мер по защите информации. Состав требований разделен на 8 процессов. Для достижения четвертого уровня соответствия каждый процесс должен равняться или быть выше 0,85.

В ГОСТ Р 57580.1 рекомендуется обеспечить автоматизацию предоставляемых технологических процессов и (или) обработку защищаемой информации с использованием АС и приложений, создаваемых (модернизируемых) финансовой организацией самостоятельно и (или) с привлечением сторонних организаций.

Одним из процессов, подлежащих автоматизации, является процесс «Управление инцидентами защиты информации» (подпроцесс «Мониторинг и анализ событий защиты информации»). Все требования процесса являются техническими мерами и не могут быть

заменены организационными мерами. Требования данного процесса закрываются приобретением или созданием программного решения класса SIEM.

Security Information and Event Management (SIEM) – это программное обеспечение, которое повышает осведомленность о безопасности ИТ-структуры, объединяя управление информацией о безопасности (SIM) и управление событиями безопасности (SEM). Решения класса SIEM улучшают обнаружение угроз, соответствие нормативным требованиям и управление инцидентами безопасности путем сбора и анализа данных и источников событий безопасности в режиме реального времени [4].

Основные возможности SIEM обеспечивают широкий спектр сбора и управления журналом событий, повышая способность анализировать события и другие данные из разных источников, а также оперативные возможности, включая управление инцидентами, dashboards (информационная панель) и отчетность.

SIEM также предлагает агрегирование данных по всей сети предприятия и нормализацию этих данных для дальнейшего анализа. Кроме того, SIEM помогает обеспечить мониторинг безопасности, мониторинг действий пользователей и соответствие нормативным требованиям.

В данной статье будут рассмотрены несколько решений класса SIEM по следующим критериям:

1. Является ли программное решение отечественной разработкой? Данный критерий связан с линией политики, проводимой государством в вопросе импортозамещения.
2. Наличие лицензий на разработку программного обеспечения, обрабатывающего конфиденциальную информацию, у компании-разработчика. Данный вид деятельности является лицензируемым.
3. Наличие у программного обеспечения сертификата по защите информации от федеральной службы по техническому и экспортному контролю. В ГОСТ Р 57580.1 имеется прямое требование по наличию сертификата у применяемых средств защиты информации.
4. Срочность, бессрочность лицензии на владение программным продуктом.
5. По какому принципу идет лицензирование продукта? Стоимость программного обеспечения может рассчитываться либо по количеству конечных подключаемых станций, либо по количеству событий в секунду.
6. Имеется ли модуль аналитики в составе программного обеспечения?
7. Политика сопровождения продукта. В данном критерии рассматриваются штрафные санкции за отказ продления технической поддержки и её возобновления через какой-то промежуток времени.
8. Системные требования программного обеспечения.
9. Функции программного обеспечения.
10. Подключаемые источники сбора событий.
11. Наличие интеграции с продуктами класса DLP.
12. Наличие обученных специалистов на рынке труда для работы с данным классом программ или же действующих программ обучения.

Рассматриваются по вышеперечисленным критериям программные продукты: SearchInform SIEM, KOMRAD Enterprise SIEM и RuSIEM.

SearchInform SIEM выпущен компанией СерчИнформ – российский разработчик средств информационной безопасности. Компания образовалась в 1995 году и сначала специализировалась на технологиях поиска, хранения и обработки информации. В 2016 году компания выпустила новый специализированный продукт для сферы информационной безопасности – SIEM-систему SearchInform SIEM.

SearchInform SIEM позволяет управлять событиями безопасности, поступающими из контроллеров домена Active Directory, почтовых серверов, журналов EventLog серверов, антивирусов, СУБД, СУРВ (система учета рабочего времени), файловой активностью, данными формата SYSLOG и другими видами событий.

KOMRAD Enterprise SIEM – относится к классу SIEM-систем и предназначен для оперативного оповещения и реагирования на внутренние и внешние угрозы информационной безопасности, а также контроля выполнения требований по безопасности информации. KOMRAD SIEM разработан и выпускается российской АО «НПО Эшелон».

Летом 2016 года НПО «Эшелон» объявило о выпуске новой версии SIEM-системы (KOMRAD 2.0). Особенности нового решения являются поддержка российских СЗИ, а также возможность получения журналов событий от любого источника благодаря универсальному адаптеру. KOMRAD поддерживает интеграцию с ГосСОПКА.

RuSIEM – программный продукт, разработанный и распространяемый ООО «РУ-СИЕМ», резидентом технопарка «Сколково». Данная компания была основана в 2016 году, однако разработку своего флагманского продукта (RuSIEM), по утверждениям учредителей, они начали за 2 года до того, в 2014. Кроме того, они же разработали бесплатную версию данного продукта под названием RvSIEM, относящуюся к классу LM (Log Management).

Обзор данных продуктов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение продуктов класса SIEM

№	Критерий	SearchInform SIEM	KOMRAD Enterprise SIEM	RuSIEM
1.	Отечественная разработка	Да	Да	Да
2.	Лицензия на разработку	Есть, рег. № 1486	Есть, рег. № 1388	Есть, рег. № 1941
3.	Сертификат ФСТЭК	Есть, серт. № 4424	Есть, серт. № 3498	Есть, серт. № 4402
4.	Вид лицензии	Бессрочная	Бессрочная	Срочная и Бессрочная
5.	Способ лицензирования	SID конечных пользователей	События в секунду (EPS)	События в секунду (EPS)
6.	Модуль аналитики	-	-	Является расширением базовой версии
7.	Сопровождение продукта	30% от закупочной стоимости, 50% от закупочной стоимости при покупке через неопределенное время	30% от закупочной стоимости, 100% от закупочной стоимости при покупке через неопределенное время	30% от закупочной стоимости, 50% от закупочной стоимости при покупке через неопределенное время
8.	Системные требования:			
	Минимальные системные требования	Процессор: 4-ех ядерный Оперативная память: 4 Гб Винчестер: 200 Гб	Процессор: 6-ти ядерный Хеоп Оперативная память: 16 Гб Винчестер: 8 000 Гб	Процессор: 4-ех ядерный Оперативная память: 8 Гб Винчестер: 70 Гб

Продолжение таблицы 1

№	Критерий	SearchInform SIEM	KOMRAD Enterprise SIEM	RuSIEM
	Система работает на	Microsoft Windows Server 2016, 2012 R2, 2012, 2008 R2, Microsoft RDS, Citrix XenDesktop/XenApp, Citrix XenServer, Vmware Horizon View	Debian	Ubuntu server
	Возможность разворачивания и использования на одной машине (физической или виртуальной)	Vmware Workstation, Vmware Player, Oracle VM, VirtualBox, Windows Virtual PC	-	-
9.	Функции ПО:			
	Способ сбора информации	Агенты	OSSEC	Агенты
	Централизованное управление	Есть	-	Есть
	Кол-во предустановленных правил корреляции	300	20	200
10.	Источники событий	Active Directory, почтовые серверы, журналы EventLog серверов, антивирусы, СУБД, СУРВ (система учета рабочего времени), межсетевые экраны, веб и прокси серверы, файловая активность, данные формата SYSLOG и другие виды событий	Active Directory, почтовые серверы, журналы EventLog серверов, антивирусы, межсетевые экраны, IDS/IPS-системы, криптошлюзы, веб и прокси серверы, данные формата SYSLOG и другие виды событий	Active Directory, почтовые серверы, журналы EventLog серверов, антивирусы, СУБД, банкоматы, коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны, данные формата SYSLOG и другие виды событий
11.	Интеграция с DLP	Есть	Нет	Нет
12.	Обученные специалисты/программы обучения	Есть	Есть	Планируется в будущем открыть свои курсы

Для ЦБ РФ направление информационной безопасности становятся все более приоритетным, что отражается в новых выпускаемых нормативно-правовых документах. Требования по защите информации становятся более жесткими, и банки вынуждены их исполнять. У финансовых организаций не остается выбора, кроме как использовать средства автоматизации в тех процессах, где это возможно. Одним из таких процессов является мониторинг и анализ событий защиты информации, трудно контролируемый процесс

из-за количества поступаемых данных, которые сами по себе не являются структурированными, и проследить зависимости между ними в ручном режиме становится невыполнимой задачей.

Библиографический список

1. Положение Банка России от 17 апреля 2019 г. N 683-П “Об установлении обязательных для кредитных организаций требований к обеспечению защиты информации при осуществлении банковской деятельности в целях противодействия осуществлению переводов денежных средств без согласия клиента”.

2. Положение Банка России от 4 июня 2020 г. № 719-П “О требованиях к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств и о порядке осуществления Банком России контроля за соблюдением требований к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств”.

3. ГОСТ Р 57580.1-2017. Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер.

4. Richard K. Medlin. A network defender's guide to threat detection: Using Zeek, Elasticsearch, Logstash, Kibana, Tor, and more. Independently published: pp 200.

УДК 004.89; 519.25; 614.2; 618.2

ВЫБОР ТАКТИКИ ВЕДЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ВНУТРИУТРОБНОЙ ИНФЕКЦИИ У НОВОРОЖДЁННОГО

Власенко А.Е., Григорьева Е.Ю., Ренге Л.В., Лихачева В.В.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал
Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования
Министерства здравоохранения РФ,
г. Новокузнецк, Россия, VlasenkoAnna@inbox.ru*

Аннотация. В статье представлена система прогноза развития внутриутробной инфекции у новорождённого. В основу положена разработка двух прогнозирующих моделей: на основе логистической регрессии для женщин, рожаящих в срок, на основе нейронных сетей при преждевременных родах. Применение системы поддержки принятия решений на практике позволит выбрать оптимальную тактику родоразрешения и ведения послеродового периода у женщин с признаками внутриутробной инфекции, тем самым снизив мертворождаемость, младенческую смертность и в целом потерю здоровья матери и ребенка.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, логистическая регрессия, нейронные сети, беременность, внутриутробное инфицирование

Annotation. The paper presents a system for predicting the development of intrauterine infection in a newborn. It is based on two predictive models: based on logistic regression for women giving birth at term, based on neural networks in preterm labor. The application of the system in practice will make it possible to choose the optimal tactics of delivery and management of the postpartum period in women with signs of intrauterine infection, thereby reducing stillbirth, infant mortality and, in general, the loss of maternal and child health.

Key words: decision support system, logistic regression, neural networks, pregnancy, intrauterine infection.

Актуальность темы: одним из современных трендов цифровизации является появление сервисов для аналитической обработки информации и систем поддержки принятия решений (СППР). Особое развитие это получило в сфере медицины, для которой характерна значительная специфика обработки, хранения и представления информации, а именно высокая ответственность, сложность объектов управления, большая неопреде-

лённость параметров элементов и связей [1]. Одна из областей медицины, где СППР наиболее востребованы, является акушерство. Объясняется это достаточно высокой степенью неопределенности, связанной с невозможностью проведения лечебно-диагностических мероприятий непосредственно на ребенке, только опосредовано, через мать. Существуют высокоинвазивные методы, но они сопряжены с существенным риском для жизни и здоровья ребенка и применяются только в крайнем случае. Наиболее остро это проблема стоит при подозрении на внутриутробное инфицирование ребенка (ВУИ). ВУИ являются одной из ведущих причин репродуктивных потерь и заболеваемости новорожденных, от инфекций в мире умирают до 40% из всех умерших новорожденных. Выделяют два ключевых пути развития ВУИ: передача от матери и присоединение инфекции извне в случае преждевременного разрыва плодных оболочек (ПРПО). Причем, стоит отметить, что ни один из этих факторов риска (инфицирование матери или ПРПО) или даже их комбинация не являются решающими. У матерей с носительством инфекции или в случае преждевременных родов в более чем половине случаев рождаются дети без ВУИ. Таким образом, требуется выявить и предсказать не столько наличие возбудителя, сколько риск развития инфекционного заболевания плода и новорожденного, осложнений неонатального периода, особенно при принятии решения о пролонгировании беременности либо срочном родоразрешении.

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе ГБУЗ КО НПЦ «Новокузнецкий перинатальный центр» а также на базе научно-исследовательской иммунологической лаборатории НГИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России. Была сформирована выборка из 312 беременных женщин, из них 92 женщины были госпитализированы в родильное отделение на сроках беременности до 34 недель с ПРПО (35 женщин родили детей без ВУИ, 30 – детей с локальной формой ВУИ и 27 – с генерализованной). В остальных 220 случаях роды были в срок, все женщины имели подтвержденную перинатально значимую инфекцию (*Herpes simplex 1,2*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* и *Chlamydia trachomatis*). Из них у 120 женщин родились здоровые дети, а у 100 – дети с ВУИ. У включенных в исследование беременных женщин были изучены анамнестические данные, проведены стандартные клинико-лабораторные исследования. Помимо стандартных анализов было проведено исследование сыворотки крови, околоплодных вод и пуповинной сыворотки на содержание регуляторно-транспортных белков: лактоферрина, $\alpha 2$ -макроглобулина, $\alpha 1$ -антитрипсина и альбумина.

В качестве метода построения модели наилучший результат прогноза риска ВУИ при срочных родах показала логистическая регрессия со штрафом (выходная переменная имела две категории: есть ВУИ, нет ВУИ). При прогнозе развития ВУИ при преждевременных родах (в случае ПРПО) прогнозировалось три исхода (нет ВУИ, локальная форма, генерализованная форма ЛУИ), это связано с особенностью ведения недоношенных детей в раннем неонатальном периоде (первые 7 дней после рождения). Наилучший результат прогноза в данном случае был получен с помощью нейронной сети. Отбор переменных для нейронной сети проводился с помощью метода бэггинга деревьев решений. Все вычисления проводились в статистической среде R (v.3.6, лицензия GNU GPL2). Настраиваемые параметры определялись с помощью задания соответствующей сетки и оценке параметров «Точность» (Accuracy) и «Каппа» (Kappa). Для повышения качества модели применялась кроссвалидация с разделением обучающей выборки на 3 части и проведением 100 повторений. Использовались пакеты *caret*, *stepAIC*, *nnet*.

Результаты исследования: на первом этапе была разработана *прогнозирующая модель риска развития ВУИ при срочных родах у женщин с подтвержденной инфекцией*. Наилучший результат в данном случае показала логистическая регрессия со штрафом, настраиваемые параметры которой были: $\lambda = 0,01$, критерий – «bic». Всего рассматривалось более 50 факторов риска, из которых в модель включено было 18: гормон ХГЧ, маловодие, альбумин в сыворотке крови и другие. Показатели качества на обучающем и

тестовом множестве составили: $AUC=0,94$ и $AUC=0,93$, доля верно классифицированных 93,5% и 93% соответственно. В случае неблагоприятного прогноза рекомендуется незамедлительно начинать антибактериальную терапию и обеспечить рождение ребенка в условиях реанимационного отделения.

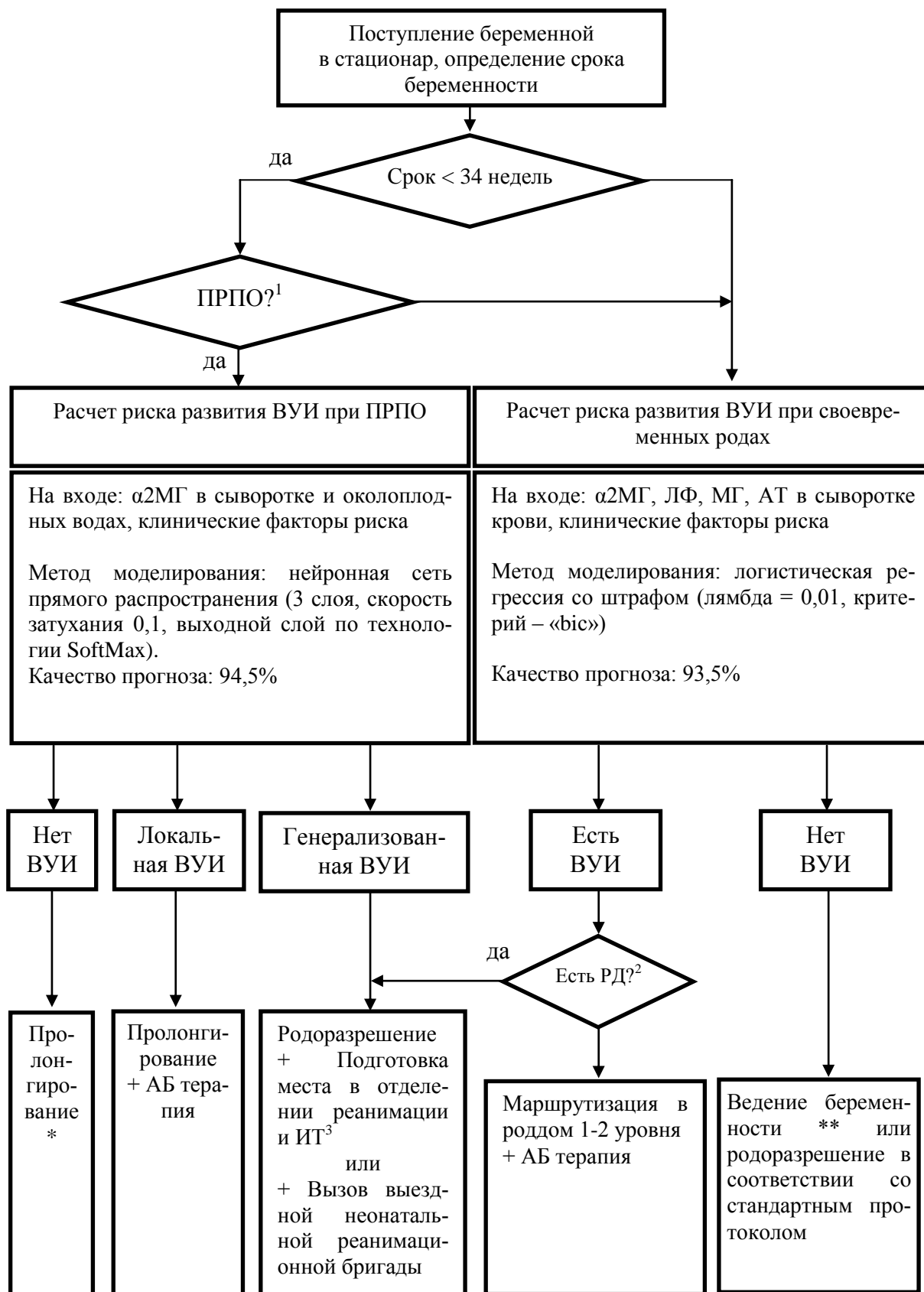
На следующем этапе была разработана модель для прогноза риска развития ВУИ у ребёнка при преждевременных родах (с ПРПО). Поскольку прогнозировался не бинарный исход (рассматривалось три возможных исхода) логистическая регрессия со штрафом в данном случае была не применима. Поэтому требовался провести предварительный отбор влияющих факторов. В качестве метрики использовался индекс Джинни, значение индекса и его статистическая значимость определялись с помощью метода бэггинга деревьев решений. В результате был найден минимальный, но достаточный набор переменных, наилучшим образом позволяющий прогнозировать наличие и тяжесть ВУИ при ПРПО. Список переменных включал в себе следующие показатели: микроглобулин в сыворотке, микроглобулин в околоплодных водах, бактериальный вагиноз, потери беременности в анамнезе, угроза прерывания беременности, ОРЗ во время текущей беременности. Обучение нейронной сети (выбор настроечных параметров и оценка весовых коэффициентов) проводилось на обучающей выборке с помощью алгоритма Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно. Настроечными параметрами нейронной сети прямого распространения с одним скрытым слоем являются число нейронов в скрытом слое и параметр затухания скорости обучения. В данном случае оптимальными настроечными параметрами были 9 нейронов и скорость затухания 0,1, выходной слой рассчитан по технологии SoftMax. Показатели качества на обучающем и тестовом множестве представлены в таблице 1. В случае положительного прогноза рекомендуется пролонгация беременности, в случае прогноза локальной формы ВУИ рекомендуется также пролонгация беременности, но при этом необходимо обеспечить обследование новорожденного по расширенному протоколу с привлечением узких специалистов, в случае крайне неблагоприятного прогноза (генерализованная форма ВУИ) необходимо немедленное родоразрешение.

Таблица 1 – Показатели качества модели прогноза риска развития ВУИ при ПРПО

Показатели качества	На обучающей выборке	На тестовой выборке
AUC[95%ДИ] – без ВУИ,	0,97[0,95-1,00]	0,98[0,95-1,00]
AUC[95%ДИ] – локализованная ВУИ	0,98[0,96-1,00]	0,98[0,94-1,00]
AUC[95%ДИ] – генерализованная ВУИ	0,99[0,97-1,00]	1,00[1,00-1,00]
Правильно классифицировано - всего	94,5% (69/73)	94,7% (18/19)
- без ВУИ	92,3% (24/26)	89,0% (8/9)
- локализованная ВУИ	96,0% (24/25)	100% (5/5)
- генерализованная ВУИ	95,5% (21/22)	100% (5/5)

С целью адаптации построенных модели к практическому применению, была разработана компьютерная программа «Расчет риска развития и степени тяжести внутриутробной инфекции новорожденного». Для написания кода программы применялся язык программирования JavaScript. Программа имеет 4 свидетельства о регистрации интеллектуальной собственности [2-5]. Алгоритм выбора тактики ведения беременности и родоразрешения на основе построенных прогнозирующих моделей приведен на рисунке 1.

Также, стоит отметить, что данная программа является частью двухэтапной системы охраны здоровья матери и ребенка [6]. Целью которой является выделение групп риска среди женщин, расчет потребности в медицинской помощи для отдельных медицинских организаций и их подразделений, а также персонализированный расчет рисков и выбор наилучшего алгоритма ведения пациентки в зависимости от построенного прогноза.



Примечание: ¹преждевременный разрыв плодных оболочек, ²родовая деятельность, ³интенсивная терапия
* повторять алгоритм каждые 3 дня, ** повторять алгоритм каждые 30 дней

Рисунок 1 – Алгоритм выбора тактики ведения беременности и родоразрешения на основе прогнозирующих моделей развития внутриутробной инфекции у новорождённого

Библиографический список

1. Галченков А.С., Новицкий В.О., Кондратьев Е.А. Сервисы поддержки принятия решений по диагностике и лечению заболеваний и их практическое применение на примере ХБП 5Д // Врач и информационные технологии. 2020. №1.
2. Клиническая характеристика беременных с преждевременным разрывом плодных оболочек с учетом наличия и степени тяжести внутриутробной инфекции у ребенка в 24-33 недели гестации, Власенко А.Е., Григорьева Е.Ю., Ренге Л.В. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2020622019, 23.10.2020
3. Иммунологическая характеристика беременных с преждевременным разрывом плодных оболочек с учетом наличия и степени тяжести внутриутробной инфекции у ребенка в 24-33 недели гестации, Власенко А.Е., Григорьева Е.Ю., Ренге Л.В. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2020622024, 26.10.2020.
4. Расчет риска развития и степени тяжести внутриутробной инфекции новорожденного при преждевременном разрыве плодных оболочек в 24-33 недели гестации, Власенко А.Е., Григорьева Е.Ю., Ренге Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020663049
5. Расчет риска развития инфекционной патологии раннего неонатального периода, Ренге Л.В., Власенко А.Е., Зорина В.Н., Баженова Л.Г. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015614787
6. Anna Vlasenko and Natalia Zhilina. Mother and Child Health Care System Based on the Analysis of Population Databases and Clinical and Immunological Characteristics of an Individual Patient/ CEUR Workshop Proceedings, Vol-2727 urn:nbn:de:0074-2727-8; p. 146-152 / <http://ceur-ws.org/Vol-2727/paper19.pdf>. Дата обращения 10.11.2020. ISSN 1613-0073

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ERP-СИСТЕМЫ SAP/R3 ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ефимова Н.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, hore.ef97@gmail.com*

Аннотация. В данной статье рассматриваются достоинства системы ERP SAP/R3. Описаны ее ключевые возможности и функции, используемые для оптимизации бизнес-процессов предприятия.

Ключевые слова: ERP, SAP/R3, корпоративная информационная система, бизнес-процессы, интегрированная платформа.

Abstract. This article discusses the advantages of the SAP/R3 ERP system. Its key features and functions used to optimize business processes of enterprise processes are described.

Keywords: ERP, SAP/R3, corporate information system, business processes, integrated platform.

Оптимизация бизнес-процессов с использованием SAP/R3

В настоящее время модернизация корпоративного управления предприятием становится центральной точкой развития для любой организации. Чтобы выжить в конкурентной борьбе, предприятия занимаются интеграцией информационных технологий в лице ERP систем для информатизации процесса управления.

ERP-система — это набор интегрированных приложений, позволяющих создавать информационное пространство для автоматизации управления планирования, учета, контроля и анализа всех основных бизнес-операций предприятия [1].

Для реализации самой важной цели внедрения ERP-системы – организации эффективного управления предприятием – требуется единая интегрированная платформа, которая охватывала бы все бизнес-процессы предприятия и сочетала бы в себе современные

информационные и управленческие технологии. Такой платформой является совокупность продуктов компании SAP SE (ранее SAP AG), ядром которой является система SAP/R3.

SAP является автоматизированной системой, которая выстраивает общее информационное поле предприятия и эффективно планирует ресурсы. Благодаря использованию бизнес-инструментов данная система позволяет практически полностью автоматизировать процесс учета на предприятии.

Буква R из R/3 является начальной буквой слова «Realtime», и обозначает немедленную проводку и актуализацию данных, которые в рамках процесса интеграции немедленно доступны всем отделам предприятия. Цифра 3 обозначает, что в системе реализована архитектура клиент/сервер приложений/СУБД (рисунок 1) [2].

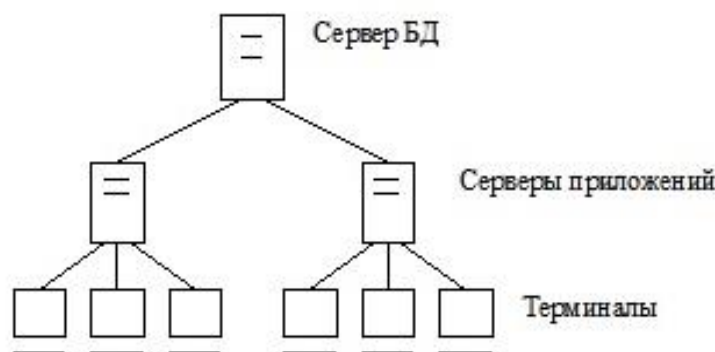


Рисунок 1 – Трехзвенная архитектура

Данная система является модульной и масштабируемой, что позволяет настраивать её под конкретные цели и задачи предприятия вне зависимости от вида и масштабов его деятельности. ERP SAP R/3 включает в себя набор прикладных модулей, которые в режиме реального времени поддерживают бизнес-процессы компании и интегрированы между собой.

Модули SAP R/3:

– **Финансы (FI)**. Модуль предназначен для организации бухгалтерской отчётности, а также отчётности по дебиторам и кредиторам.

– **Контролинг (CO)**. Обеспечивает учет затрат и прибыли предприятия.

– **Управление основными средствами (AM)**. Модуль предназначен для учета основных средств и технического управления ими, для техобслуживания и ремонта оборудования, управления инвестициями и т.д.

– **Управление проектами (PS)**. Данный прикладной модуль позволяет реализовывать планирование, управление и контроль над долгосрочными проектами с высоким уровнем сложности.

– **Производственное планирование (PP)**. Модуль предназначен для организации мониторинга и планирования производственной деятельности компании.

– **Управление материально потоками (MM)**. Модуль реализует поддержку функции снабжения и управления запасами предприятия, которые используются в различных хозяйственных операциях. Например, закупка материалов и услуг, поступление материалов на склад, списание запасов в производство и т.д.

– **Сбыт (SD)**. Модуль решает задачи по продаже и реализации товаров и поставок, а также осуществляет выставление счетов.

– **Управление качеством (QM)**. Модуль обеспечивает поддержку качества, его проверку и контроль при производстве и закупке.

– **Техобслуживание и ремонт оборудования (PM)**. Модуль рассчитывает затраты и необходимые ресурсы, которые могут потребоваться для техобслуживания и ремонта оборудования.

– **Управление персоналом (HR)**. Это полностью интегрированная система, которая необходима для планирования и управления работой персонала.

– **Управление информационными потоками (WF)**. Часть системы, которая связывает интегрированные прикладные модули с общими для всех приложений технологиями, сервисными средствами и инструментами.

– **Отраслевые решения (IS)**. Позволяет объединять прикладные модули SAP/R3 и дополнительную функциональность, специфичную для отрасли или предприятия в целом.

– **Базисная система**. Является основой системы SAP/R3, которая обеспечивает интеграцию всех ее прикладных модулей и гарантирует независимость от аппаратной платформы.

Краткий обзор функциональных возможностей системы SAP/R3 демонстрирует ее способности в решении приоритетных задач, стоящих перед крупными предприятиями. Поэтому не случайно многие организации выбирают именно её в качестве основной корпоративной системы. И главным критерием такого выбора является широкие возможности конфигурирования и настройки системы, которые не требуют дополнительных вложений и трат ресурсов со стороны предприятия, что, в свою очередь, говорит о высоком техническом уровне внедряемой системы.

При внедрении SAP/R3 предприятие преследует конкретную цель – повышение эффективности работы бизнес-процессов, и как следствие выживание компании в конкурентной борьбе. И чтобы реализовать поставленную задачу, предприятию жизненно необходимо перейти от традиционных структур, которые, по большей части, ориентированы на функции, к гибким формам, которые ориентированы на процессы. А такой переход, в свою очередь, может быть осуществлен только при наличии конкретных инструментальных средств. Для SAP/R3 таким инструментом выступает Business Engineer.

С помощью открытому и стандартному для пользователя интерфейсу Engineer клиенты SAP имеют возможность разрабатывать индивидуальные шаблоны для внедрения ERP системы. Business-Engineer включается в стандартную поставку системы SAP R/3 и состоит из трех главных компонентов:

- Бизнес-конфигуратор SAP R/3.
- Ссылочная модель SAP R/3.
- Репозиторий SAP R/3.



Рисунок 2 – Конфигурирование SAP/R3 с помощью инструментария Business-Engineer

Описанная система позволяет осуществлять динамическое графическое моделирование бизнес-процессов предприятия, что ощутимо упрощает и ускоряет конфигурирование системы SAP/R3.

На сегодняшний день ERP система SAP/R3 является наиболее используемой и распространенной среди систем автоматизированного управления бизнес-процессами. Феноменальный успех стал возможен во многом благодаря возможности конфигурации системы в соответствии с исключительными требованиями заказчика, а также возможности подстроить систему в соответствии с особенностями любого предприятия.

Библиографический список

1. Логиновский, О. В. Управление промышленным предприятием в современных условиях с использованием ERP-систем / О. В. Логиновский, А. А. Максимов, А. С. Козлов — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2006.

2. Т. Чаффлер. Ключевые возможности логистической системы SAP в управлении современным предприятием // Вестник ХГУ им. Н.Ф. Катанова. 2017. №20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klyuchevye-vozmozhnosti-logisticheskoy-sistemy-sap-v-upravlenii-sovremennym-predpriyatiem>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Булакина Е.Н., Моисеев В.В., Недзельская О.Н., Бикинеева А.Н.,
Кетов А.В., Почуфаров Д.О.

Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия, elenagb09@mail.ru

Аннотация. В статье представлено описание разработки в сфере информационных технологий, ИТ-инфраструктур. Произведен сравнительный анализ методологий, предлагающих инструменты для построения систем, способных обеспечить решение узконаправленных ИТ-проблем. Определены сферы применения системных методологий, разделены уровни их компетенций. Проведено исследование влияния аутсорсинга на бизнес-процессы предприятий. Отмечено, что важным фактором при работе являются: контроль информационной безопасности предприятия, определение программно-аппаратного комплекса управления. Также проведено исследование подходов по организации управления рабочей средой предприятия. Исследованы схемы организации и сферы их применения. Обоснована приоритетность применения комплексного, централизованного управления рабочей средой.

Ключевые слова: система, контроль, инфраструктура, методология, управление, компетенции, аутсорсинг, исследование, анализ, эффективность, программно-аппаратный комплекс.

Abstract. The article describes the development in the field of information technology, IT infrastructures. A comparative analysis of methodologies offering tools for building systems capable of providing solutions to narrowly focused IT problems has been carried out. The spheres of application of system methodologies are defined, the levels of their competencies are divided. A study of the influence of outsourcing on the business processes of enterprises has been conducted. It is noted that an important factor in the work are: control of the information security of the enterprise, the definition of the hardware and software management complex. A study of approaches to the organization of management of the working environment of the enterprise was also conducted. The schemes of organization and the scope of their application are investigated. The priority of the application of integrated, centralized management of the working environment is justified.

Keywords: system, control, infrastructure, methodology, management, competencies, outsourcing, research, analysis, efficiency, hardware and software complex.

В большинстве предприятий, на сегодняшний день, информационные технологии (ИТ) воспринимаются как «центральное управление» инфраструктурой предприятия. Такое ИТ-подразделение (отдел), поддерживает программно-аппаратный комплекс в рабо-

тоспособном состоянии, отвечая лишь за техническую составляющую обеспечения функционирования бизнес-процессов. В свою очередь результаты деятельности по автоматизации производственных процессов на предприятии должны отвечать требованиям таким как: повышение производительности труда, оптимизация процессов управления, улучшение качества продукции, соответствие инновационным требованиям.

Основной целью работы является: исследование методологий, повышающих надёжность функционирования информационных систем предприятия; разработка методологических подходов по управлению комплексной, централизованной ИТ-инфраструктурой предприятия; рассмотрение возможности применения аутсорсинга для решения ИТ-задач.

Процесс автоматизации может иметь различную степень «зрелости» от хаотичной, до проводимой в соответствии с передовым опытом мировых технологий. Влияние качества данного процесса на конечный результат является неоспоримым, при внедрении программного комплекса, отвечающего требованиям предприятия, в результате достигаются желаемые показатели качества. При хаотичном внедрении, пусть даже самого лучшего программного комплекса, возможна масса ошибок, допущенных на этапах внедрения. В результате такого изменения возможно ухудшение полученных показателей качества, по сравнению с первоначальными показателями.

Существует ряд подходов оценки показателей качества программных изделий, такие как оценка по внутренним, внешним показателям качества и смешанный подход [2]. Действительно, важно при выборе средства автоматизации руководствоваться инструментами анализа программ. Важнейшим фактором для получения положительных результатов деятельности по автоматизации является применение системного подхода всей работы в целом. Существуют различные методологии, описывающие инструменты для достижения поставленных целей бизнеса при высоком уровне надёжности информационной системы. Наиболее распространёнными стали британская библиотека IT Infrastructure Library (ITIL), CobiT (Control Objectives for Information and Related Technology («Задачи информационных и смежных технологий»)), методологическая модель Microsoft Operation Framework (MOF). На сегодняшний день большинство предприятий в нашей стране используют стандарты для организации работы информационных отделов. Существует ряд стандартов, применяемых к обслуживанию техники, такие как стандарт ISO 18322 (в России ГОСТ 18322), к управлению качеством ISO 9004-2010, к созданию автоматизированных систем ГОСТ 34.601-90 к процессам жизненного цикла программных средств ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 и другие [3, 6].

Информационные технологии, на сегодняшний день, развиваются высокими темпами. Это относится как к улучшающейся элементной базе, как следствие, растущим вычислительным мощностям; к совершенствованию системного и прикладного программного обеспечения; внедрению технологий мейнфреймов в настольные персональные компьютеры (например, многопоточность, виртуализация); к расширяющейся глобальной сети Интернет, которая становится доступной всё большей части населения мира; возврат к широкому применению терминальных рабочих станций. Развитие информационных технологий предоставляет растущие возможности для деловых отношений. Применение передовых технологий даёт конкурентное преимущество предприятию только при условии наиболее эффективного внедрения этих технологий.

Соответствие стандартам считается одним из условий, необходимым для подтверждения высокого качества производимых товаров или услуг. Одним из ярких примеров является достижение мировой известности за счёт высокого качества компанией «Тойота» в результате применения практик «Кайдзен», также известных как «бережливое производство». В настоящее время многие мировые компании приняли опыт «бережливого производства» и, тем самым, достигли выдающихся результатов. Следует отметить, что за последние 10 лет многие отечественные компании внедрили или сделали первые шаги к внедрению «бережливого производства» и уже смогли оценить результаты. К этим ком-

паниям относятся как крупные: ОАО «Сбербанк России», КАМАЗ, Группа «ГАЗ», РУСАЛ, так и мелкие: филиал ОАО «МРСК Сибири» — «Хакасэнерго», «Черногорская мебельная фабрика» и др.

Следует отметить, что применение мировых практик и методологий не может идти в разрез со стандартами, которым необходимо соответствовать предприятию. Сравнение различных подходов к организации информационной структуры предприятия со стандартами качества требует изменения взгляда на ИТ, а именно рассмотрение ИТ-службы не как предоставляемую услугу, а как подразделение предприятия, использующее ИТ-активы. Таким образом, целью ИТ-службы будет обеспечение работы ИТ-активов, ремонтные, регламентные работы, устранение аварийных ситуаций. Действительно, чаще всего используются модули Service Desk и конфигурационная база для учёта техники из системы ИТIL. Следует отметить, что в данном случае эти модули применяются для организации работы по стандарту ISO 18322, где основное внимание уделяется устранению сбоев и учёту техники [5]. Подход, ориентированный на обслуживание и ремонт ИТ-активов, применяется в большинстве предприятий, государственных и муниципальных учреждениях. Что же касается подходов ИТIL и MOF, то эти подходы имеют фундаментальные отличия от используемых у нас ГОСТов (рисунок 1).

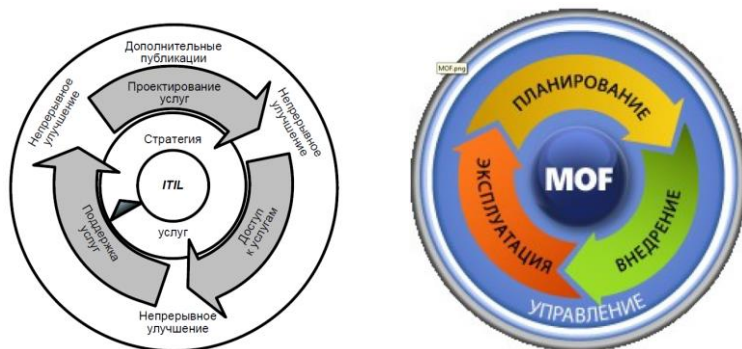


Рисунок 1 - Жизненный цикл информационной системы ИТIL(слева), системы MOF (справа)

В чем-то эти подходы схожи, в чем-то имеют серьёзные отличия. Следует отметить, что ИТIL построен так, чтобы его можно было использовать вне зависимости от применяемой в конкретном случае технологии или системы [9]. В результате этого ИТIL сосредоточена на структуре управления, позволяющая успешно работать ИТ на предприятии вне зависимости от применяемых технологий. В свою очередь MOF построен для успешной работы на базе платформы Microsoft, при этом считается, что MOF может применяться для использования с другими программными платформами.

ИТIL использует процессный подход, описывая большинство компонентов как процессы и функции [7]. Процессы характеризуются измеримостью, определённым результатом, ориентацией на потребителя, триггером, (рис. 2).

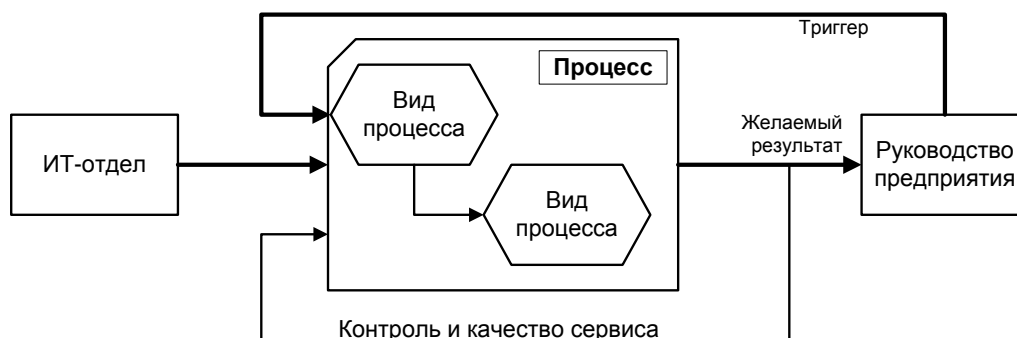


Рисунок 2 - Описание процесса в системе ИТI

Процессное управление ИТ-инфраструктурой предприятия имеет ряд преимуществ. Так, при определении видов деятельности, входов, ожидаемых результатов, норм и требований можно повысить результативность, рациональность работы, получить инструменты управления качеством. Таким образом, методологии ITIL и MOF могут применяться для управления процессами и управления качеством информационных процессов не только на зарубежных, но и на отечественных предприятиях подобного типа. Такие методологии дают понимание, что такое сервис, как построить функционирование сервиса: умение выстраивания процессов, грамотное определение сервисной модели, обучение и обеспечение взаимозаменяемости персонала и так далее.

Здесь следует перейти к понятию аутсорсинга. Как ИТ-подразделение предприятия, так и внешний сервис-провайдер могут быть рассмотрены с точки зрения аутсорсинга. Ввиду того, что ИТ-подразделения предприятий находятся в рамках многих ограничений: бюджетных, человеческих, управленческих и других, что усложняет внедрение передовых технологий, становится крайне трудной задачей. В такой ситуации следует привлекать внешнего сервис-провайдера, имеющего в своём продуктивном портфеле необходимые технологии, которые используются для множества клиентов. В таком случае внедрение технологии силами сервис-провайдера для отдельно взятой задачи предприятия является дешевой, по сравнению с внедрением собственными силами. В современных российских условиях при выборе в пользу аутсорсинга следует учитывать ряд особенностей, которые нужно учесть при построении модели работы: возможный риск нарушения сохранности имущества, безопасности и утечки информации; недостаточность рычагов управляющего взаимодействия; возможное несоответствие квалификации персонала [1].

Но как организация будет управлять своими рисками и обеспечивать безопасность информационных ресурсов, от которых она зависима? Как организация может стать уверенной в том, что информационная структура достигает поставленных целей и поддерживает развитие предприятия? На эти вопросы отвечает COBIT - пакет открытых документов, около 40 международных и национальных стандартов и руководств в области управления ИТ, аудита и ИТ-безопасности [8].

В COBIT делается акцент на том, что требуется для достижения адекватного управления и контроля в сфере ИТ на отработанном уровне. COBIT связан с другими, более детальными стандартами в сфере ИТ. Методология COBIT действует в качестве интегратора узконаправленных входящих материалов, суммируя ключевые цели в рамках единой методологии которая, в свою очередь, увязана с управлением и направленностью предприятия.

Рассмотрим подходы, широко используемые в зарубежной практике, которые с развитием широкополосных сетей передачи данных, стали применяться и в России. Главной тенденцией, позволяющей повысить эффективность работы предприятия, стало смещение внимания с управления парком устройств на управление рабочей средой. Это решает проблемы постоянных модернизаций, обновлений аппаратной и программной частей. Есть множество технологий, обеспечивающих централизованное управление рабочей средой. Их основное отличие в соотношении локальных и удаленных компонентов используемой архитектуры (рисунок 3).

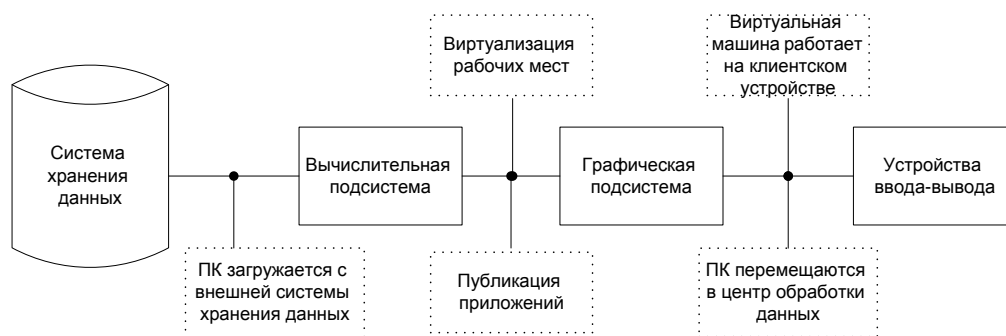


Рисунок 3 - Блок-схема централизованного управления ИТ-инфраструктурой

В сущности, различия в технологиях удаленного доступа состоят в том, какую часть клиентской среды мы переносим в центр обработки данных. Рассмотрим основные подходы:

1. ПК загружается с внешней системы хранения данных. В данном случае осуществляется доставка образа операционной системы из центра обработки данных.

2. Виртуализация рабочих мест. В центр обработки данных выносятся не только всё, что касается хранения данных, но и вычислительный ресурс.

3. Публикация приложений. Все приложения выполняются в центре обработки данных. На клиентское устройство осуществляется доставка изображений, то есть клиентское устройство выполняет роль терминального устройства.

4. ПК перемещается в центр обработки данных. В этом случае на стороне сотрудника остаётся дисплей и устройство ввода-вывода, которое не является компьютером.

5. Виртуальная машина работает на клиентском устройстве. Этот подход позволяет выполнять задачи сотрудника на его персональном компьютере в изолированной виртуальной среде без подключения к центру обработки данных.

Следует отметить, что сложно назвать любое из вышеперечисленных решений универсальным. В зависимости от требований, предъявляемых к инфраструктуре рабочей среды возможно применение того или иного подхода, либо их комбинаций. Также следует обратить внимание на способы контроля износа оборудования, что несомненно снижает надёжность ИТ-систем (рисунок 4).



Рисунок 4 - Контроль износа оборудования

Рассмотрим подходы, обеспечивающие гибкость при организации рабочей среды. Для пользователя, которому необходимо обеспечить мобильность, при использовании классического набора приложений наиболее подходящим решением является виртуализация ПК. В случае, если необходимо обеспечить большую вычислительную мощность, централизованную защиту данных применяется подход, при котором ПК загружается с внешней системы хранения данных. В тех случаях, когда требуется много вычислительных ресурсов, например, графические станции, применим способ перемещения ПК в центр обработки данных. Это позволит оптимизировать управление системами электропитания и охлаждения, а также улучшить эргономику рабочего пространства. В случае выполнения специализированных приложений на мобильных компьютерах оптимальным может быть подход выполнения виртуальной машины на ПК [4].

При выборе ИТ-инфраструктуры важным фактором является стоимость владения системой в целом. Методика расчета стоимости владения определяет прямые и косвенные затраты предприятия, что позволяет определить насколько эффективна система. К прямым затратам относятся: стоимость программного обеспечения, приобретение оборудования, заработная плата сотрудников, оплата услуг внедрения и прочие. К косвенным затратам относятся затраты на устранения сбоев и проблем работы комплекса информационных систем: потери рабочего времени из-за простоев, затраты на обучение, восстановление после замен и ремонта и др., которые не всегда возможно предугадать. Расчет сто-

имости владения определяет большинство реальных затрат, связанных с функционированием системы (рисунок 5).

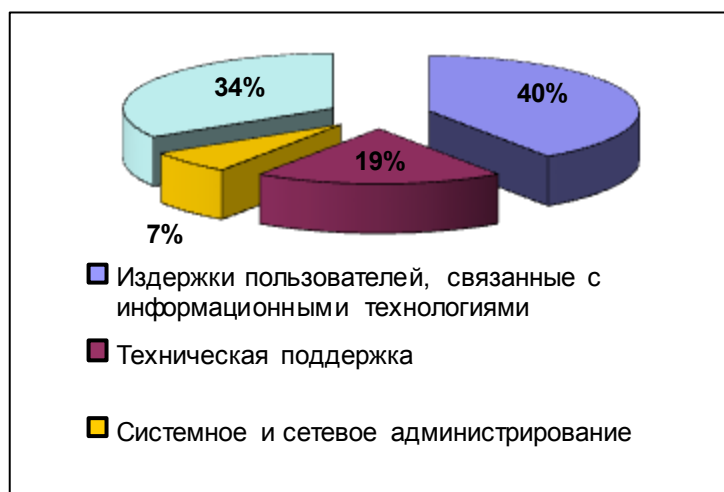


Рисунок 5 - Прямые и косвенные затраты.

Вторым важным фактором при построении информационной системы является показатель окупаемости инвестиций, то есть отношение суммы прибыли или убытков к сумме инвестиций в информационную систему. При использовании подходов централизованного управления рабочей средой, основными факторами, влияющими на снижение стоимости информационной системы по сравнению с децентрализованной системой, являются: стоимость приобретения – цена персонального компьютера (ПК) системным ПО, базовым пакетом гарантийного обслуживания; административные расходы – затраты на установку ПК, инсталляцию ПО, перенос данных и пользовательских настроек с компьютеров, подлежащих замене, а также затраты на технический персонал; затраты на внедрение системного и прикладного ПО (профильные информационные системы предприятия); затраты на гарантийное и послегарантийное обслуживание ПК – замена вышедших из строя или работающих с серьезными сбоями ПК в период и после действия гарантии.

Проведение расчета стоимости перевода, например, 300 рабочих мест с использованием подхода централизованного управления в виртуальную среду с заменой ПК на тонкие клиенты показывает значительные показатели экономии при расчете на 3 года, таблица 1.

Таблица 1 - Экономическая эффективность централизованного подхода

Расходы за 3 года	Традиционная инфраструктура, руб.	Инфраструктура с применением централизованного управления рабочей средой, руб.	Выгода, руб.
Аппаратное обеспечение рабочих мест	13 050 000,00	4 080 000,00	8970000,00
ПО для рабочих мест	1 350 000,00	2 187 000,00	-837 000,00
Серверная инфраструктура	0,00	3 198 000,00	-3198000,00
Экономическая эффективность внедрения	14 400 000,00	9 465 000,00	4935000,00

Сокращение показателя стоимости владения системой в расчете на 3 года – 34%. Показатель окупаемости инвестиций – 52%. Срок окупаемости – 1 год и 11 месяцев. Следует отметить, что затраты на обслуживание информационной системы с применением тонких клиентов по сравнению с децентрализованной системой с применением ПК на 40% ниже в первый год и на 80% ниже во второй и третий годы. Также благодаря технологиям централизованного управления снижается риск хищения или поте-

ри конфиденциальной информации предприятия вместе с ПК сотрудников благодаря тому, что вся информация храниться в серверной подсистеме.

Стоит обратить внимание на то, что в последние 6 лет резко возросла стоимость электроэнергии для предприятий и составляет от 3 до 5 рублей за кВт/ч. Что становится очень заметным фактором при выборе информационной инфраструктуры. Разница в стоимости электроэнергии может достигать 3000-5000 рублей в год за одно рабочее место в зависимости от графика работы (по сравнению с централизованным подходом и использованием тонких клиентов).

При выборе подхода для достижения гибкости в управлении рабочей среды следует проводить комплексную оценку стоящих перед нами задач. Только с учетом всех требований возможно достижение результата, который удовлетворит требованиям предприятия.

Качественное функционирование программно-аппаратных комплексов в составе ИТ-инфраструктур предприятия является важной задачей, от решения которой зависит конкурентное развитие предприятия на рынке. Изменения отношения к ИТ-инфраструктуре предприятия с актива на сервис позволяет сделать ИТ-подразделение максимально соответствующим требованиям предприятия. Как следствие, обеспечить эффективность вкладываемых в ИТ инвестиций.

В результате рассмотрения показателей стоимости владения системы с применением централизованного управления рабочей средой, можно сделать вывод о необходимости тщательного планирования системы и поиска наиболее эффективных путей её развития. Подсчет стоимости системы в перспективе 3х-5 лет оправдывает внедрение более дорогостоящих технологий управления рабочей средой предприятия.

Библиографический список

1. Аутсорсинг. [Электронный ресурс] // Режим доступа World Wide Web:URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Аутсорсинг> (дата обращения 23.02.2018).
2. Антошина И.В. Основные тенденции оценивания качества программных средств. / И.В. Антошина, В.Г. Домрачев, И.В. Ретинская // Качество, Инновации, Образование. – 2014. - №1.
3. Моисеев В.В., Кетов А.В., Лебедкин П.В. Исследование различных подходов при организации централизованного управления средой обработки данных // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сб. тр. VII Всероссийской н-п конф. студентов, аспирантов и молодых учёных; Нац. иссл. ТомскИнформационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств [Электронный ресурс]: ГОСТ 12207-2010 // Федеральное агентство по тий политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – С. 126-128.
4. Радаев А. ИТ-услуги: есть ли альтернатива ITIL? [Электронный ресурс] / Режим доступа World Wide Web. URL: http://www.iteam.ru/publications/it/section_91/article_3210/ (дата обращения 02.12.2021).
5. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения [Электронный ресурс] : ГОСТ 18322-78 // Федеральное агентство по техническому регулированию : официальный сайт. - Режим доступа World Wide Web. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.12.2019)..
6. Alison Cartlidge, Ashley Hanna. An Introductory Overview of ITIL v3. The UK Chapter of itSMF, 2017
7. COBIT 4.1. пер. И.А. Вдовин. Аудит и контроль информационных систем, 2018.
8. Cross Reference ITIL® V3 and MOF 4.0, May 2019 [Электронный ресурс] / Режим доступа World Wide Web. URL: <http://microsoft.com/mof> (дата обращения 01.12.2021).

ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA. КАК АНАЛИЗИРУЮТ БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ

Кокорев И.С.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, ilya_borisov62@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена обзору технологии «большие данные» (Big Data) и её особенностей. Приведены основные характеристики, позволяющие выделить эту технологию среди прочих, принципы работы с ней, позволяющие проводить анализ максимально эффективно.

Ключевые слова: Big Data, машинное обучение, классификация, обзор, технология.

Abstract. The article is devoted to an overview of the Big Data technology and its features. The main characteristics that make it possible to distinguish this technology among others, the principles of working with it, allowing the analysis to be carried out as efficiently as possible are given

Keyword: big Data, machine Learning, classification, overview, technology.

В условиях глобальной информатизации общества системы автоматизации создают и накапливают огромный объем данных различного рода. Производственные предприятия непрерывно производят и обрабатывают потоки технической, статистической информации, способной оказывать влияние на принятие решений

Первые упоминания Биг Data появились в 60-70-х годах прошлого века. Тогда начался активный рост и развитие информационных технологий. И продолжается подобный прогресс по сей день. Это не может не отражаться на «дате» — то, что еще 10 лет назад казалось огромным объемом, теперь является «мелочью». Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть на размеры памяти современных девайсов или «вес» выпускаемого софта.

С 2005 года организации начали потихоньку разбираться в масштабах софта пользовательских интернет сервисов – YouTube, ОК, VK и так далее. Тогда же появилась одна из первых платформ для работы с большими объемами данных. Она получила названием Hadoop. Сегодня так называют суперкомпьютер, стек, предназначенный для Big Data. Чуть позже мир узнал об еще одной технологии – NoSQL, которая представлена связью методов, которыми создаются системы управления Big Data.

Определение Big Data или большие данные — это структурированные или неструктурированные массивы данных большого объема. Их обрабатывают при помощи специальных автоматизированных инструментов, чтобы использовать для статистики, анализа, прогнозов и принятия решений.

Если говорить простыми словами, рассматриваемый термин – это большое количество совершенно разных сведений, известных миру, поступающих в хранилища

Классификация BigData обладают собственной классификацией. Условно принято разделять все большие сведения на несколько групп:

1. Структурированные. Они обладают структурой таблиц, а также отношений. Сюда можно отнести Excel, а также документы CSV.

2. Полуструктурированные. Сведения, не обладающие строгой табличной составляющей и отношениями. Имеют разнообразные маркеры, при помощи которых в реальной жизни удастся отделить семантику и обеспечение иерархии полей и записей. Пример – электронные материалы о письмах по e-mail.

3. Неструктурированные. Не имеют никакой четкой организации и структуры: текст на естественном языке, аудиодорожки, видеоролики, изображения.

Работа с большими данными производится только при помощи специальных технологий.

Big Data– это то, с чем обычные технологии не справятся. Для решения тех или иных задач задействуются специальные алгоритмы, а также устройства. Обработка ведется в несколько этапов:

- интегрирование;
- управление;
- анализ данных.

Начинается все с интернирования. На данном этапе корпорация внедряет основные информационные технологии (искусственный интеллект и суперкомпьютеры) для сбора больших данных. Сюда же относится введение специальных систем.

В процессе подключаются инструменты форматирования и обработки, осуществляется управления. Рассматриваемую составляющую требуется где-то хранить.

Этот вопрос решается заранее. Он напрямую зависит от предпочтительных форматов, а также технологий обработки.

Проведение анализа аналитиками Big Data проводится операция анализа. Данные обрабатываются при помощи разнообразных методик.

В ходе проведенных манипуляций осуществляется сортировка данных и их «отсевание». Результатом становится определение наиболее полезных для конкретной организации электронных материалов.

Big Data предусматривают различные методы обработки. Они позволяют при помощи всевозможных информационных технологий работать с большим потоком информации. Искусственный интеллект и нейросети – лидеры в соответствующей сфере.

Работа с данными может производиться через:

- машинное обучение;
- регрессионные анализы;
- анализы социальных сетей;
- изучение древа классификаций;
- анализ правил обучения;
- генетическую алгоритмизацию.

Ассоциации применяется для того, чтобы:

- грамотно размещать продукцию – так, чтобы люди чаще покупали ее (всю, а не конкретный товар);
- анализировать биологические сведения;
- извлекать электронные материалы обо всех пользователях, посетивших ту или иную страницу в Сети.

Метод правил ассоциаций распространен в крупных торговых сетях, где для сбора и хранения применяются специальные устройства. Они называются POS-системы.

Древо классификаций Big Data может помочь:

- автоматически присваивать файлам категории;
- классифицировать организмы;

Для этого используется метод статистической классификации (древа). В ходе реализации осуществляется определение категорий, к которым относятся новейшие и последние появившиеся наблюдения. Это – своеобразный помощник-классификатор.

Генетические алгоритмы помогают:

- составлять различные графики и расписания;
- рассчитывать каждый раз оптимальные расходы сырья на производство эффективных машин и устройств;
- создавать искусственно творческий софт – игры слов, шутки и им подобные.

Следуют генетические алгоритмы принципам работы эволюции.

Машинное обучение и нейронные сети, как это работает. Нейронные сети работают по единому алгоритму — получают на входе данные, «прогоняют» их через сеть своих нейронов и на выходе выдают результат, например, относят входные данные к определенной группе.

Чтобы нейросеть работала, ее нужно сначала обучить — этот процесс называется машинным обучением.

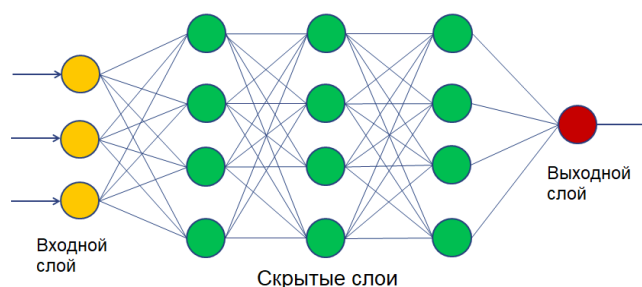


Рисунок 1 - Простейшая нейросеть

Нейросети обычно используют, если нужно сортировать данные, классифицировать их и на основе входной информации принимать какие-то решения. Обычно нейросети используют для тех задач, с которыми справляется человек: распознать лицо, отсортировать фотографии, определить мошенническую банковскую операцию по ряду признаков. В таких задачах нейросеть заменяет десятки людей и позволяет быстрее принимать решения.

Заключение

Таким образом, анализ и обработка больших данных - непростая и комплексная задача, требующая для решения особых инструментов и больших вычислительных возможностей. В их основе лежат математические алгоритмы, теория вероятностей и многие другие инструменты, которые при применении к большим данным могут принести больше плодов тем, кто не обошёл вниманием это относительно новое явление в информационном интернет-пространстве. Учитывая стремительный рост объёма больших данных, можно с достаточной уверенностью предполагать, что направления науки, связанные с их анализом, не потеряют актуальность в обозримом будущем.

Библиографический список

1. Силен Д. Основы Data Science, Big Data. Python и наука о данных / Д. Силен. /М.: Питер, 2017. 354 с.
2. Моррисон А. Большие Данные: как извлечь из них информацию. Технологический прогноз / Ежеквартальный журнал. – 2010. – №3. – С. 22–29.
3. Что такое Big data: собрали всё самое важное о больших данных // RUSBASE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/howto/chto-takoe-big-data/> (дата обращения 26.10.2021).
4. Статья «Большие данные (Big Data)» [Электронный ресурс] // URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_\(Big_Data\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_(Big_Data)) (Дата обращения: 26.10.2021)

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВУМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Бабушкина О.С., Калашников С.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, babushkina.olga51999@gmail.com*

Аннотация. Цель статьи заключается в поиске значений параметров гармонического воздействия на двумерную линейную динамическую систему на основе решения задачи оптимизации по заданному критерию. В работе проведен анализ качественного изменения фазового портрета системы при варьировании её параметров. Для решения поставленной задачи использован численный метод на основе конечно-разностной схемы Кранка-Николсона. При исследовании режимов поведения динамической системы проведен вычислительный эксперимент с реализацией серии расчетов в табличном процессоре MS Excel. Ре-

зультатом написания статьи является графическое представление возникающих в системе колебательных процессов разного рода.

Ключевые слова: полный факторный эксперимент, критерий оптимизации, двумерная линейная динамическая система, колебательный режим, задача Коши, фазовый портрет системы, разностная схема Кранка-Николсона.

Abstract. The purpose of the article is to find the values of the parameters of the harmonic effect on a two-dimensional linear dynamic system based on solving the optimization problem according to a given criterion. The paper analyzes the qualitative change in the phase portrait of the system with varying its parameters. To solve this problem, a numerical method based on the finite-difference Krank-Nicholson scheme is used. When studying the behavior modes of a dynamic system, a computational experiment was carried out with the implementation of a series of calculations in a MS Excel spreadsheet processor. The result of writing the article is a graphical representation of oscillatory processes of various kinds arising in the system.

Keywords: full factorial experiment, optimization criterion, two-dimensional linear dynamic system, oscillatory mode, Cauchy problem, phase portrait of the system, Krank-Nicholson difference scheme.

Оптимизация динамической системы подразумевает нахождение таких ее параметров, которые минимизируют (максимизируют) определенные динамические свойства или характеристики системы.

Примером оптимизации динамической системы является нахождение оптимальных значений параметров гармонического воздействия переменной силы на двумерную линейную динамическую систему, которые позволяют минимизировать работу этой силы [1].

Под динамической системой понимают любой объект или процесс, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин в данный момент времени и задан закон, который описывает изменение (эволюцию) начального состояния с течением времени. Таким математическим объектом является система автономных дифференциальных уравнений [2].

Эволюция динамических систем анализируется в пространстве состояний – фазовом пространстве, в котором в качестве координат выступают выходные параметры системы.

Ответ на вопрос о том, какие режимы поведения могут устанавливаться в данной системе, можно получить из фазового портрета системы – совокупности всех ее траекторий, изображенных в пространстве фазовых переменных (фазовом пространстве). Среди этих траекторий имеется некоторое число основных, которые и определяют качественные свойства системы. К ним относятся точки равновесия, отвечающие стационарным режимам системы, и замкнутые траектории, отвечающие режимам периодических колебаний. Будет ли режим устойчив или нет, можно судить по поведению соседних траекторий: устойчивое равновесие или цикл притягивает все близкие траектории, неустойчивое отталкивает хотя бы некоторые из них [3].

Двумерные динамические системы также называют динамическими системами на плоскости или динамическими системами с двумя степенями свободы. Под динамической системой на плоскости будем понимать автономную двумерную динамическую систему первого порядка, которая описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{dx}{d\tau} = f(x, y), \\ \dot{y} = \frac{dy}{d\tau} = g(x, y), \end{cases} \quad (1)$$

где τ – время, с начальными условиями $x(0) = x_0, y(0) = y_0$. Траекториями системы (интегральными кривыми) будут $x(\tau) = \varphi(x_0, \tau), y(\tau) = \psi(y_0, \tau)$, то есть решения уравнений (1). Каждому состоянию системы соответствует изображающая точка $M(x, y)$ на фазовой плоскости xOy . Любая изображающая точка соответствует состоянию системы. Множество изображающих точек на плоскости xOy называется фазовой траекторией системы: $y = \mu(x, x_0, y_0)$. Обычно на фазовой траектории указывают направление движения изображающей

точки из начального состояния, то есть показывают направление эволюции (динамику) системы [4].

В работе рассмотрена двухмерная линейная динамическая система вида

$$\begin{cases} \dot{x} = (a_0 + \delta_a)x + (b_0 + \delta_b)y, \\ \dot{y} = (p_0 + \varepsilon_p)x + (q_0 + \varepsilon_q)y, \\ x(0) = x_0, \\ y(0) = y_0, \end{cases} \quad (2)$$

где $x = x(\tau)$, $y = y(\tau)$ – выходные параметры системы;

$x_0 = x(0)$, $y_0 = y(0)$ – начальные значения выходных параметров системы;

a_0, b_0, p_0, q_0 – исходные (собственные) параметры системы;

$\delta_a, \delta_b, \varepsilon_p, \varepsilon_q$ – внешние факторы, действующие на параметры системы.

Реально действующие параметры a, b, p, q динамической системы с учетом воздействий внешних факторов приобретают вид

$$a = a_0 + \delta_a, \quad b = b_0 + \delta_b, \quad p = p_0 + \varepsilon_p, \quad q = q_0 + \varepsilon_q.$$

Гармонический осциллятор является частным случаем двухмерной линейной динамической системы (2) при значениях параметров $a_0 = 0$, $b_0 = 1$, $p_0 = -1$, $q_0 = 0$. При этом в случае отсутствия воздействия внешних факторов на динамическую систему фазовым портретом является окружность.

Внешнее воздействие на параметры системы в работе является гармоническими функциями времени вида

$$\begin{cases} \delta_a = A_a \sin(\omega_a \tau + \varphi_a), \\ \delta_b = A_b \sin(\omega_b \tau + \varphi_b), \\ \varepsilon_p = A_p \sin(\omega_p \tau + \varphi_p), \\ \varepsilon_q = A_q \sin(\omega_q \tau + \varphi_q), \end{cases} \quad (3)$$

где A_a, A_b, A_p, A_q – амплитуды гармонических воздействий соответственно на параметры a_0, b_0, p_0, q_0 ;

$\omega_a, \omega_b, \omega_p, \omega_q$ – частоты гармонических воздействий;

$x = x(\tau)$, $y = y(\tau)$ – выходные параметры системы;

$\varphi_a, \varphi_b, \varphi_p, \varphi_q$ – фазовые сдвиги гармонических воздействий.

Таким образом, частным случаем воздействий на динамическую систему (2) являются гармонические функции времени (3). Гармонические воздействия на систему могут быть также представлены в виде конкретных реализаций рассматриваемой системы (2) и имеющих определенные значения своих параметров, которые в свою очередь могут быть представлены в таком же виде.

Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений реализовано в табличном процессоре Microsoft Excel на основе аппроксимации уравнений с помощью конечно-разностной схемы Кранка-Николсона второго порядка точности.

С помощью разработанного программного Excel-VBA-приложения проведен полный факторный вычислительный эксперимент (ПФВЭ) 2^4 , где в качестве варьируемых параметров выбраны $\omega_a, \omega_b, \omega_p, \omega_q$, частоты гармонических внешних воздействий на динамическую систему с амплитудами, равными 1. Опорные уровни и интервалы варьирования этих частот равны соответственно 8 Гц и 2 Гц. Соответственно, нижний уровень частот в ПФВЭ 2^4 равен 6 Гц, а верхний – 10 Гц. Начальные значения выходных параметров имеют следующие значения: $x_0 = 0$, $y_0 = 1$.

Режимы работы исследуемой динамической системы определяются корнями характеристического уравнения [5]

$$\lambda^2 - (a + q)\lambda + (aq - bp) = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) представимо в виде

$$\lambda^2 - \text{tr}M_s\lambda + \det M_s = 0, \quad (5)$$

где $M_s = \begin{pmatrix} a & b \\ p & q \end{pmatrix}$ – матрица коэффициентов динамической системы (2);

$\text{tr}M_s = a + q$ – след матрицы M_s ;

$\det M_s = aq - bp$ – определитель матрицы M_s .

На рисунках 1-2 приведены графики зависимостей от времени значений выходных параметров и пульсирующего радиуса как расстояния точки фазовой траектории от начала координат в фазовой плоскости. Эти данные получены по результатам вычислительного эксперимента для вариантов значений частот гармонических воздействий $\omega_1 = 10, \omega_2 = 6, \omega_3 = 6, \omega_4 = 10$ и $\omega_1 = 10, \omega_2 = 10, \omega_3 = 10, \omega_4 = 10$.

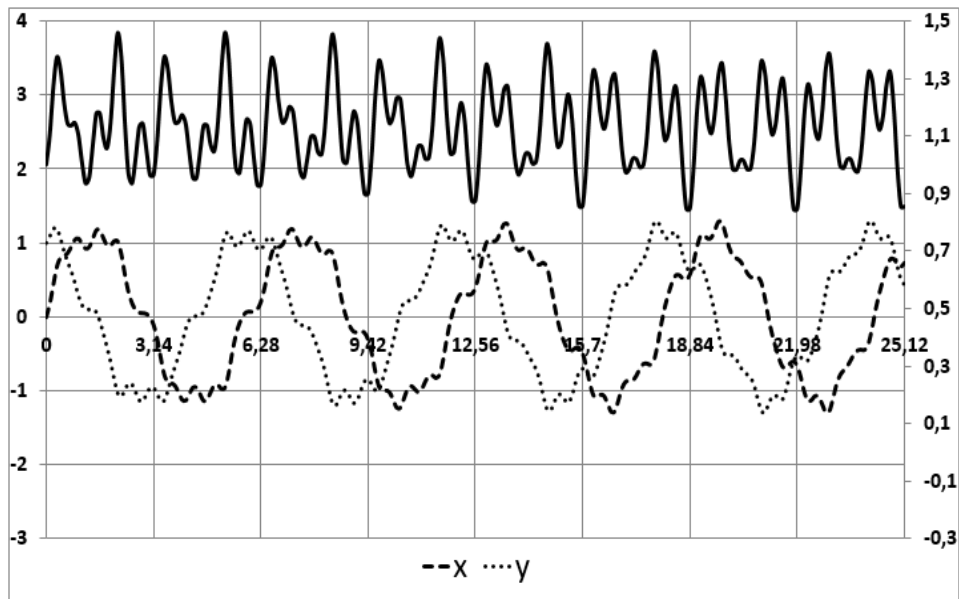


Рисунок 1 – Динамика изменений значений выходных параметров и пульсирующего радиуса в 1-ом опыте

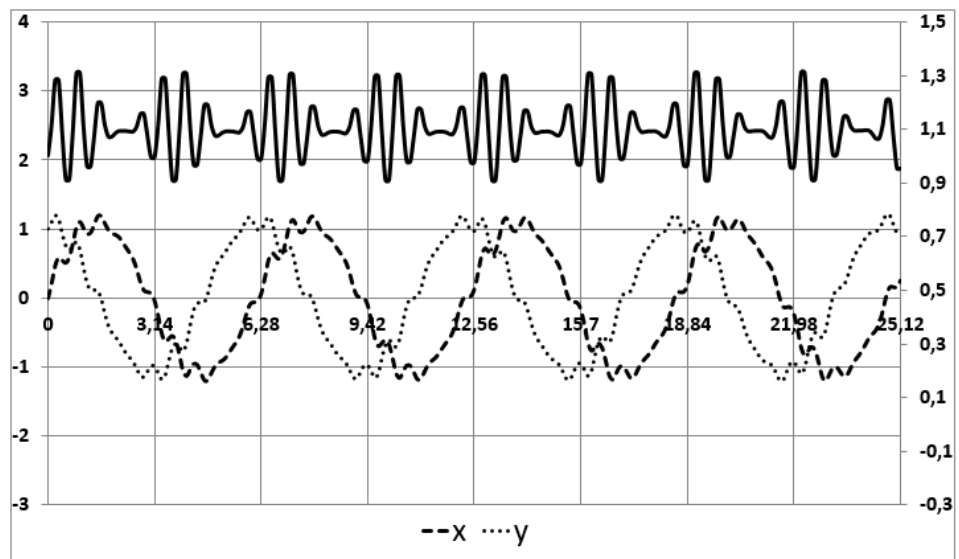


Рисунок 2 – Динамика изменений значений выходных параметров и пульсирующего радиуса во 2-ом опыте

На рисунке 3 приведены фазовые портреты по результатам вычислительного эксперимента для вариантов значений частот гармонических воздействий $\omega_1 = 10, \omega_2 = 6, \omega_3 = 6, \omega_4 = 10$ и $\omega_1 = 10, \omega_2 = 10, \omega_3 = 10, \omega_4 = 10$.

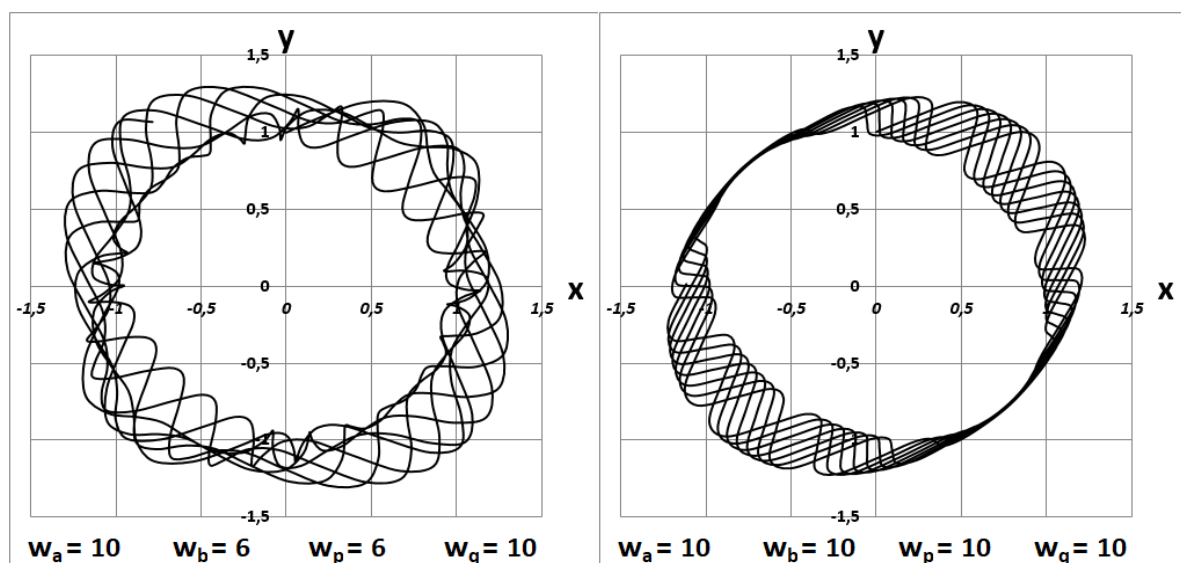


Рисунок 3 – Результаты опытов № 1 – 2 ПФВЭ 24

В качестве решения задачи оптимизации рассмотрена минимизация работы переменной силы, воздействующей на динамическую систему, подверженную влиянию внешней гармонической нагрузки, характеризуемой четырьмя числовыми параметрами для условий опытов, результаты которых приведены на рисунке 3.

Решение поставленной задачи оптимизации осуществлено с помощью надстройки «Поиск решения» в табличном процессоре Microsoft Excel, где найдены оптимальные значения частот внешних гармонических воздействий: $\omega_1 = 6, \omega_2 = 6, \omega_3 = 4, \omega_4 = 6$ и $\omega_1 = 7, \omega_2 = 7, \omega_3 = 5, \omega_4 = 9$. Результаты полученного решения представлены на рисунке 4.

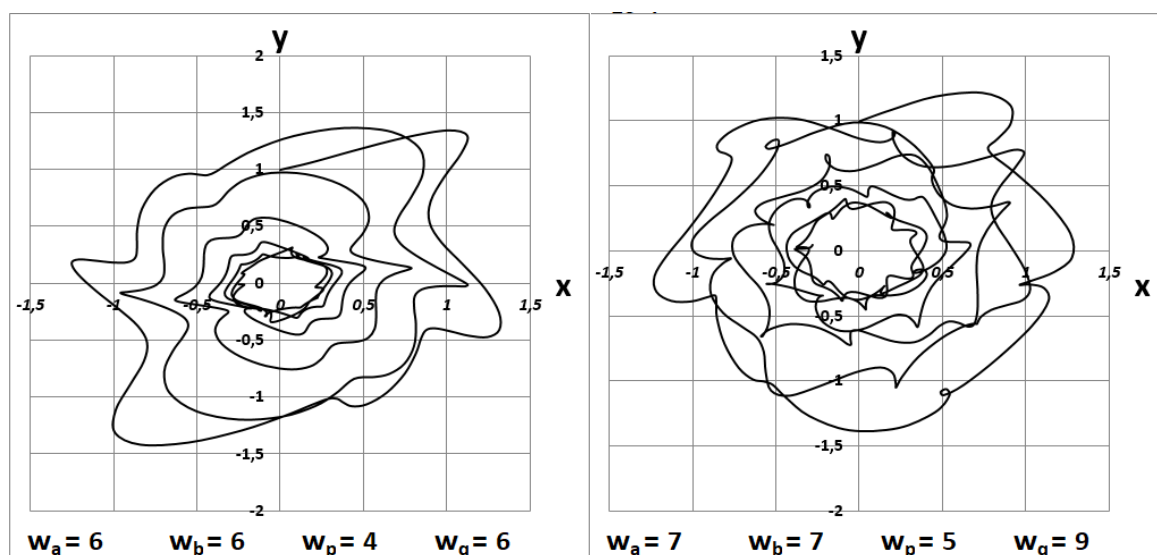


Рисунок 4 – Результаты опытов № 3 – 4 ПФВЭ 24

Таким образом, в работе с использованием алгоритма на основе конечно-разностной схемы Кранка-Николсона и табличного процессора Microsoft Excel решена поставленная задача оптимизации как минимизации работы внешней силы, воздействующей на динамическую систему.

При этом были изучены колебательные режимы в двумерной линейной динамической системе с гармонической нагрузкой на параметры системы с помощью проведения полного факторного вычислительного эксперимента 24 по значениям частот гармонических нагрузок.

Библиографический список

1. Оптимизация динамических систем [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7440699/page:4/>, свободный (дата обращения: 05.11.2021).
2. Качественные и численные методы исследования динамических систем на плоскости [Текст] : учебно-методическое пособие / Т. А. Леванова, М. А. Комаров, А.К. Крюков, В.А. Костин, Г.В. Осипов. – Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2015. – 61 с.
3. Касаткина Ю. А. Двумерные динамические системы в приложениях [Текст]: учебно-методическое пособие / Ю. А. Касаткина, Т. М. Митрякова. – Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2016. – 47 с.
4. Цымбал В. П. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях в 3^хч. Ч. II. Формальное описание эволюции и самоорганизации [Текст]: учеб. пособие / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; под ред. В.П. Цымбала. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2004. – 298 с.
5. Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах [Текст] : труды V Международной научно-практической конференции, 14 апреля 2021 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. И. А. Рыбенко, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 457 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ КОМПОНЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОГО РАСПЛАВА В ЛИТЕЙНОМ МИКСЕРЕ

Мартусевич Е.А., Калашников С.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, science_nvzk@yandex.ru*

Аннотация. При моделировании процесса формирования алюминиевого расплава в миксере необходимо учитывать распределение коэффициента диффузии компонентов расплава в диапазоне от значений молекулярной диффузии до значений турбулентной диффузии, так как в месте залива алюминия-сырца из литейных ковшей реализуется самое высокое значение коэффициента диффузии, соответствующее режиму турбулентной диффузии, которое постепенно уменьшается по мере увеличения расстояния от места залива алюминия-сырца из литейного ковша. В результате, это позволит более точно оценить динамику диффузии компонентов алюминиевого расплава в миксере.

Ключевые слова: алюминиевый расплав, математическая модель, диффузия компонентов расплава, фронт концентрации, конечно-разностная схема, решение дифференциальных уравнений.

Abstract. When modeling the process of formation of an aluminum melt in a mixer, it is necessary to take into account the distribution of the diffusion coefficient of the melt components in the range from molecular diffusion values to turbulent diffusion values, since in the place of pouring raw aluminum from casting ladles the highest diffusion coefficient value corresponding to the turbulent diffusion regime is realized, which is gradually decreases as the distance from the point of pouring raw aluminum from the casting ladle increases. As a result, this will make it possible to more accurately assess the dynamics of diffusion of the components of the aluminum melt in the mixer.

Keywords: aluminum melt, mathematical model, diffusion of melt components, concentration front, finite difference scheme, solution of differential equations.

Процесс диффузии компонентов расплава в миксере при добавлении алюминия-

сырца из литейного ковша представляет собой краевую задачу математической физики с соответствующими краевыми условиями [1,2]. При этом через C обозначена концентрация произвольного химического элемента, входящего в состав алюминиевого расплава, которая является функцией времени и пространственных координат $C = C(\tau, x, y, z)$.

Процесс диффузии рассматриваемого компонента описывается с помощью уравнения диффузии, которое в дивергентной форме имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \text{div} (D \cdot \text{grad} C), \quad (1)$$

где $\text{grad} C = \left(\frac{\partial C}{\partial x}, \frac{\partial C}{\partial y}, \frac{\partial C}{\partial z} \right)^T$ – градиент скалярного поля концентрации C соответствующего компонента расплава;

$D = D(x, y, z)$ – коэффициент диффузии компонента, зависящий от пространственных координат в силу его зависимости от перемешивания за счет падающей струи расплава;

$$\text{div} \vec{U} = \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \text{ – дивергенция векторного поля } \vec{U} (\vec{U} = D \cdot \text{grad} C).$$

Так, уравнение диффузии (1) в координатной форме имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \frac{\partial D}{\partial x} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial D}{\partial y} \cdot \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial D}{\partial z} \cdot \frac{\partial C}{\partial z} + D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

Краевая задача математической физики для вычисления значений концентраций $C(x, y, z)$ с учетом начального распределения концентрации $C_0(x, y, z)$ имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial \tau} = \text{div} (D \cdot \text{grad} C) \\ C(0, x, y, z) = C_0(x, y, z), \\ \left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{\partial D} = \varphi(x, y, z) \end{cases} \quad (3)$$

где $\varphi(x, y, z)$ – поток концентрации (производная концентрации по нормали) соответствующего компонента через границу ∂D исследуемой области D .

Место залива алюминия-сырца приближенно можно отразить в виде отрезка прямой на определенном фрагменте верхней границы объема миксера. Если бы местом залива была точка, а не отрезок, то линиями равного уровня значений коэффициента диффузии были бы фрагменты концентрических окружностей и значение коэффициента диффузии уменьшалось бы при переходе от окружности с меньшим радиусом к окружности с большим радиусом.

Но так как место залива интерпретируется в виде отрезка прямой на верхней границе миксера с координатами концов отрезка (x_{k1}, y_k) и (x_{k2}, y_k) , то предлагается вместо концентрических окружностей, как линий равного уровня значений коэффициента диффузии, использовать кривые в виде эллипсов с растущими значениями их полуосей a, b . Уравнение эллипсов имеет вид:

$$\frac{(x-x_k)^2}{a^2} + \frac{(y-y_k)^2}{b^2} = 1, \text{ где } x_k = \frac{x_{k1} + x_{k2}}{2}, \quad (4)$$

При этом расстояние от центра эллипса до фокусов определяется с помощью соотношения $c = \sqrt{a^2 - b^2}$, а координаты фокусов соответственно равно $(x_{kc1}, y_k) = (x_k - c, y_k)$ и $(x_{kc2}, y_k) = (x_k + c, y_k)$.

По мере удаления от места залива алюминия-сырца значение коэффициента диффузии приближенно описывается с помощью экспоненциального закона с отрицательным значением показателя, отражающего меру удаления. Так как эллипс характеризуется тем,

что сумма расстояний в произвольной его точке до фокусов является константой, то в качестве меры удаленности эллипса от места залива алюминия-сырца предлагается использовать именно эту величину.

В целом процесс диффузии складывается как процесс молекулярной и турбулентной диффузии, эффекты которых необходимо учитывать в общем коэффициенте диффузии D ($D = D_m + D_m$).

В результате, общий коэффициент диффузии предлагается оценивать с помощью соотношения:

$$D = D_m + \alpha e^{-\beta S}, \quad (5)$$

где D_m – коэффициент молекулярной диффузии;

S – сумма расстояний точки эллипса с координатами (x, y) до фокусов эллипса ($S = \sqrt{(x - x_{kc1})^2 + (y - y_k)^2} + \sqrt{(x - x_{kc2})^2 + (y - y_k)^2}$);

α, β – настроечные параметры, характеризующие процесс диффузии.

Для решения уравнения диффузии используется метод конечно-разностной аппроксимации ДУ [3,4]. Так, функция $C = C(\tau, x, y, z)$, описывающая зависимость концентрации компонента X от времени и пространственных координат заменяется сеточной функцией значений C_{ijk}^n в n -ый момент времени ($\tau_n = n\Delta\tau$) в ijk -ом узле трехмерной сеточной области, аппроксимирующей объем алюминиевого расплава в миксере. При этом $i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K$.

Краевая задача математической физики (3) аппроксимируется конечно-разностной задачей относительно значений сеточной функции C_{ijk}^n , которая имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta\tau} = \Lambda_{ijk}^n \\ C_{ijk}^n|_{n=0} = C_{0ijk} \\ \frac{3C_\Gamma - 4C_{\Gamma-1} + C_{\Gamma-2}}{2\Delta n} = \varphi_\Gamma \end{cases} \quad (6)$$

где $\frac{3C_\Gamma - 4C_{\Gamma-1} + C_{\Gamma-2}}{2\Delta n}$ – конечно-разностная трехточечная аппроксимация нормальной производной в любой точке границы ∂D ;

Δn - шаг дискретизации пространства вдоль направления нормали к произвольной точке границы ∂D ;

$\Delta\tau$ - шаг дискретизации при аппроксимации производной $\frac{\partial C}{\partial \tau}$ по времени;

φ_Γ - значение заданной на границе функции $\varphi(x, y, z)$ в произвольной точке границы ∂D , описывающей значение потока концентрации компонента.

Для решения конечно-разностной задачи (6) необходимо сформировать соотношение $C_{ijk}^{n+1} = \varphi(C_{ijk}^n)$ для вычисления сеточных значений C_{ijk}^{n+1} в $(n+1)$ -ый момент времени на основе значений C_{ijk}^n в n -ый момент времени.

Соотношение $C_{ijk}^{n+1} = \varphi(C_{ijk}^n)$ для вычисления сеточных значений C_{ijk}^{n+1} в $(n+1)$ -ый момент времени на основе значений C_{ijk}^n в n -ый момент времени при использовании неявной конечно-разностной схемы формируется на основе уравнений:

$$C_{ijk}^{n+1} = C_{ijk}^n + \Delta\tau \left(\frac{(D_{i+1,j,k} - D_{i-1,j,k})(C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1})}{4(\Delta x)^2} + \right. \\ \left. + \frac{(D_{i,j+1,k} - D_{i,j-1,k})(C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1})}{4(\Delta y)^2} + \frac{(D_{i,j,k+1} - D_{i,j,k-1})(C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1})}{4(\Delta z)^2} \right) + \quad (7)$$

$$+D \left(\frac{C_{i-1,j,k}^{n+1} - 2C_{ijk}^{n+1} + C_{i+1,j,k}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + \frac{C_{i,j-1,k}^{n+1} - 2C_{ijk}^{n+1} + C_{i,j+1,k}^{n+1}}{(\Delta y)^2} + \frac{C_{i,j,k-1}^{n+1} - 2C_{ijk}^{n+1} + C_{i,j,k+1}^{n+1}}{(\Delta z)^2} \right),$$

которые приводятся к виду:

$$F(C_{ijk}^{n+1}) = 0. \quad (8)$$

После преобразований получается:

$$\begin{aligned} F(C_{ijk}^{n+1}) = & C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n - \Delta\tau \left(\frac{(D_{i+1,j,k} - D_{i-1,j,k})(C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1})}{4(\Delta x)^2} + \right. \\ & + \frac{(D_{i,j+1,k} - D_{i,j-1,k})(C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1})}{4(\Delta y)^2} + \frac{(D_{i,j,k+1} - D_{i,j,k-1})(C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1})}{4(\Delta z)^2} \left. + (9) \right. \\ & \left. + D \left(\frac{C_{i-1,j,k}^{n+1} - 2C_{ijk}^{n+1} + C_{i+1,j,k}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + \frac{C_{i,j-1,k}^{n+1} - 2C_{ijk}^{n+1} + C_{i,j+1,k}^{n+1}}{(\Delta y)^2} + \frac{C_{i,j,k-1}^{n+1} - 2C_{ijk}^{n+1} + C_{i,j,k+1}^{n+1}}{(\Delta z)^2} \right) \right) \end{aligned}$$

Полученная система (10) уравнений решается итерационным методом с помощью соотношения:

$$C_{ijk}^{n+1(s+1)} = C_{ijk}^{n+1(s)} + \mu F(C_{ijk}^{n+1(s)}), \quad (10)$$

где μ – параметр итерационного метода, характеризующий скорость и возможность сходимости итерационного процесса, $|\mu| < 1$.

При этом в качестве начальных значений в итерационном процессе выбирается значения сеточной функции, вычисленные на предыдущем n -ом шаге по времени $C_{ijk}^{n+1(0)} = C_{ijk}^n$.

При подстановке (9) в (10) получается следующее соотношение для итерационных вычислений:

$$\begin{aligned} C_{ijk}^{n+1(s+1)} = & C_{ijk}^{n+1(s)} + \mu \left(C_{ijk}^{n+1(s)} - C_{ijk}^n - \Delta\tau \left(\frac{(D_{i+1,j,k} - D_{i-1,j,k})(C_{i+1,j,k}^{n+1(s)} - C_{i-1,j,k}^{n+1(s)})}{4(\Delta x)^2} + \right. \right. \\ & + \frac{(D_{i,j+1,k} - D_{i,j-1,k})(C_{i,j+1,k}^{n+1(s)} - C_{i,j-1,k}^{n+1(s)})}{4(\Delta y)^2} + \frac{(D_{i,j,k+1} - D_{i,j,k-1})(C_{i,j,k+1}^{n+1(s)} - C_{i,j,k-1}^{n+1(s)})}{4(\Delta z)^2} \left. + (11) \right. \\ & \left. + D \left(\frac{C_{i-1,j,k}^{n+1(s)} - 2C_{ijk}^{n+1(s)} + C_{i+1,j,k}^{n+1(s)}}{(\Delta x)^2} + \frac{C_{i,j-1,k}^{n+1(s)} - 2C_{ijk}^{n+1(s)} + C_{i,j+1,k}^{n+1(s)}}{(\Delta y)^2} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{C_{i,j,k-1}^{n+1(s)} - 2C_{ijk}^{n+1(s)} + C_{i,j,k+1}^{n+1(s)}}{(\Delta z)^2} \right) \right) \end{aligned}$$

Итерационный процесс завершается при выполнении условия:

$$\sum_{ijk} \left| C_{ijk}^{n+1(s+1)} - C_{ijk}^{n+1(s)} \right| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

где ε – заданная точность вычислений.

При достижении выполнения условия (12) в качестве значений C_{ijk}^{n+1} используются значения, достигнутые на последней итерации, то есть $C_{ijk}^{n+1} = C_{ijk}^{n+1(s+1)}$.

На рисунке 1 представлена динамика движения фронта концентрации компонента формируемого расплава при добавлении алюминия-сырца из литейного ковша.

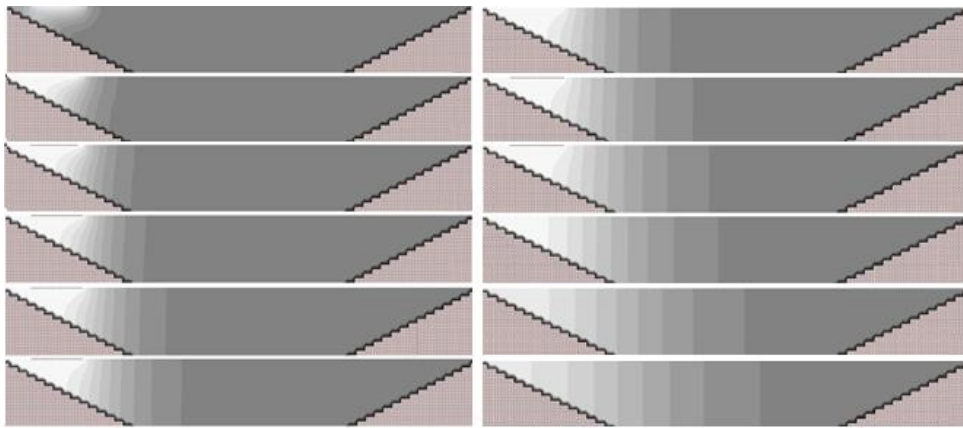


Рисунок 1 – Динамика движения фронта концентрации компонента расплава при добавлении алюминия-сырца из литейного ковша

Реализация фреймов, представленных на рисунке 10, в составе интерфейса информационно-обучающей системы «Шихтовщик алюминиевого расплава» [5] способствует наиболее наглядному представлению характера протекания процесса диффузии в области миксера с целью обучения и повышения квалификации технологического персонала.

Библиографический список

1. Семакин, И. Г. Программирование, численные методы и математическое моделирование [Текст]: учебное пособие / И. Г. Семакин, О. Л. Русакова, Е. Л. Тарунин, А. П. Шкарапута. - М.: Изд-во «КноРус», 2017. - 298 с.
2. Рейзлин, В. И. Математическое моделирование [Текст]: учебное пособие / В. И. Рейзлин. - М.: Изд-во «Юрайт», 2016. - 128 с.
3. Колдаев, В. Д. Численные методы и программирование [Текст]: учебное пособие / В. Д. Колдаев. - М.: Изд-во «ФОРУМ», 2009. - 336 с.
4. Калашников, С. Н. Численный метод расчета параметров смешивания алюминия-сырца в миксере литейного отделения / С. Н. Калашников, Е. А. Мартусевич, Е.В. Мартусевич, В. Н. Буинцев // XII Международная научно-практическая конференция «Информация и образование: границы коммуникаций» INFO'20, 2020. - С. 123 - 126.
5. Мартусевич, Е. А. Алгоритмическое и программное обеспечение информационно-обучающей системы «Шихтовщик алюминиевого расплава» / Е. А. Мартусевич, В. Н. Буинцев, С. Н. Калашников // Инженерный вестник Дона. - 2018. - №4. - С. 1 - 8.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ СЕТЕВОЙ СТАНДАРТ INDUSTRIAL ETHERNET

Ковынева В.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, mirrvik@mail.ru*

В статье приведено описание и возможности работы Промышленного сетевого стандарта Industrial Ethernet на производстве, так же приведены все достоинства и недостатки. Рассказаны принципы и внедрение промышленного сетевого стандарта Industrial Ethernet, что позволяет оптимизировать и повысить эффективность деятельности предприятий.

Ключевые слова: Industrial Ethernet, технологии, протокол, производство, стандарт, управление, оптимизация, интеллектуальная система.

The article provides a description and capabilities of the Industrial Ethernet standard in production, as well as all the advantages and disadvantages. The principles and implementation of the industrial network standard Industrial Ethernet are described, which allows to optimize and increase the efficiency of enterprises.

Keywords: Industrial Ethernet, technologies, protocol, production, standard, management, optimization, intelligent system.

Ethernet - это семейство технологий пакетной передачи данных между устройствами для компьютерных и промышленных сетей, описывающая аппаратное и программное обеспечение для фиксированных сетей передачи данных. Ethernet изначально предназначался для локальных сетей передачи данных и поэтому также называется технологией LAN. Таким образом, Ethernet позволяет обмениваться данными между всеми устройствами, подключенными к локальной сети, в форме так называемых пакетов данных.

Промышленный Ethernet - это дальнейшее развитие Ethernet. Здесь целью является применение возможностей Ethernet к устройствам, используемым в промышленном производстве и управлении (также называемым Ethernet реального времени). Как правило, устройства для контроля и проверки производственных процессов интегрируются в локальную сеть компьютеров сотрудников, которые в большинстве своем уже существуют.

До сегодняшнего дня большинство людей не понимало, что такое Ethernet. Этот термин часто встречается в связи с так называемыми «умными домами». Ethernet - это сеть, которую все приводы в умном доме используют для связи друг с другом. Если вы рассматриваете умный дом - «мыслящий дом» - как тело, Ethernet будет соответствовать нервам и кровеносным сосудам, по которым информация передается от мозга к отдельным частям тела - исполнительным механизмам. Далее будет объяснено, почему эта метафора не на 100% верна.

Industrial Ethernet представляет собой адаптацию технологии Ethernet к производственным процессам. Это ускоряет связь и синхронизацию исполнительных механизмов, участвующих в процессе.

Интенсивные исследования начались более 10 лет назад под руководством IAONA (Industrial Automation Open Networking Alliance). Идея заключалась в использовании Ethernet в сочетании с протоколами TCP / IP для создания на его основе единого протокола реального времени, который можно было бы использовать для связи процессов автоматизации. Оригинальный Ethernet с пропускной способностью 10 Мбит / с не подходил для этой связи, поскольку был весьма подвержен конфликтам. Первоначально это привело к развитию Fast Ethernet. Здесь сообщения передавались без коллизий с использованием переключателей, приоритизации сообщений и полнодуплексной передачи. Скорость для этого составляет 100 Мбит / с. Тем самым была подготовлена почва для желаемой быстрой передачи в реальном времени.

Существует около 20 различных протоколов для Industrial Ethernet, ориентированных на IEEE 802.3. При этом протоколы полевой шины передаются через Ethernet посредством туннелирования или инкапсуляции.

Преимуществами являются согласованность систем связи и прямой переход на прикладной уровень полевой шины, а также простая переносимость.

Недостаток - большие накладные расходы при использовании протокола TCP.

Industrial Ethernet использует международные стандарты проводки. Решающим протоколом для промышленных приложений является протокол CIP. Это обеспечивает циклический и критичный по времени поток данных технологии автоматизации. Сети CIP совместимы друг с другом. Например, это позволяет DeviceNet работать с EtherNet / IP.

Уровень маршрутизации Ethernet: он встречается, например, в автомобилестроении или в технологических процессах, то есть в крупных, строго стандартизированных и автоматизированных производственных установках. Здесь передача между отдельными систе-

мами в большинстве случаев не очень критична по времени. Стандартный Ethernet (в сочетании с протоколами информационных технологий) используется здесь уже много лет.

Уровень исполнительного устройства / датчика: на этих двух уровнях характеристики промышленного Ethernet в реальном времени имеют особое значение.

Промышленный Ethernet должен установить базисно-ориентированную и единую систему связи между системами уровня маршрутизации, уровня управления и уровня датчиков, которая обеспечивает связь в режиме реального времени. Таким образом можно избежать системных потерь и ошибок передачи. При этом особенно важно определить инфраструктуру, действительную для всех трех уровней.

Ethernet основан на принципе ведущий-ведомый: участники модуля, управляющего процессами, являются ведомыми. Они подключаются к главному устройству через общую линию, что также представляет собой своего рода централизованное управление группой подчиненных. И здесь возникает вопрос, почему «метафора мозга» не на 100% верна: если она увеличивает эффективность системы, отдельные подчиненные устройства также могут общаться друг с другом. Это было бы так, как если бы мизинец правой руки мог послать сообщение мизинцу ноги, не совершая обходного пути через мозг. Это позволяет снизить нагрузку на центральный пульт управления, что в свою очередь может снизить потребление энергии.

Производственные процессы становятся все более сложными и многослойными. Соответственно возрастают требования к управлению этими процессами. Системы полевой шины, которые были в секторе высоких технологий всего 20 лет назад, уже какое-то время не могут там конкурировать. Здесь вступает в игру одна из характеристик Ethernet и особенно Industrial Ethernet: так называемый Ethernet реального времени, также называемый Fast Ethernet, передает данные со скоростью 100 Мбит / с. Вертикальная структура системы также обеспечивает связь между несколькими компонентами системы без риска конфликта данных. Время цикла синхронизации системы находится в диапазоне микросекунд.

Кроме того, отдельные модули сети Industrial Ethernet можно относительно быстро перепрограммировать, что позволяет создать новую комбинацию сетевых компонентов в соответствии с концепцией строительных блоков. Такая высокая гибкость едва ли может быть найдена в промышленной системе связи.

Из-за постоянно ускоряющейся глобализации все больше и больше компаний занимаются оптимизацией и повышением эффективности своей деятельности. Это означает, что они хотят улучшить соотношение производственных затрат и производственных усилий.

Коммерческие пользователи могут рассчитывать на следующие преимущества:

Экономия за счет меньшего количества отходов благодаря более точному контролю производственных процессов. В частности, процессы дозирования могут стать значительно более эффективными.

Высокая гибкость систем Ethernet дает возможность планировать на краткосрочную и среднесрочную перспективу по сравнению с обычным временем планирования. В результате улучшаются возможности изготовления на заказ, что сокращает складские запасы. В связи с этим также может быть сокращено время простоя рабочих установок.

Однако у заказчика есть и преимущество Industrial Ethernet: Возможность непрерывного мониторинга значений измерений и допусков может улучшить качество продукции в целом.

Исполнительные механизмы производственного процесса подключены к модулям системы Ethernet, от которых они получают свои команды. Эти модули могут быть подключены к центральной системе управления через общие линии. Модули называются подчиненными, а центральные органы управления - мастерами. Соответственно, когда речь идет об Ethernet, часто упоминается принцип ведущий-ведомый. Вот почему Industrial Ethernet более интеллектуален, чем другие системы:

Мастера могут общаться друг с другом через сеть. Это похоже на человеческое тело, где все нервные импульсы обрабатываются в головном мозге. Однако в случае с Ethernet есть еще один факт: если он увеличивает эффективность, отдельные ведомые устройства также могут обмениваться данными друг с другом. Это, как если бы нос, когда он чешется, мог послать команду почесать руку без необходимости обходного пути через мозг. Это резко снижает нагрузку на центральное управление установкой.

Однако Industrial Ethernet не только мыслит более эффективно, чем другие промышленные системы связи, что является еще одной причиной того, что Industrial Ethernet пользуется растущей популярностью, например, в машиностроении. Он также быстрее думает: вертикальное построение структуры системы позволяет нескольким модулям передавать и обрабатывать данные одновременно. Технология Ethernet в реальном времени, также называемая Fast Ethernet, обеспечивает скорость передачи данных до 100 Мбит / с - естественно, без риска конфликта данных. Кроме того, доступно несколько сигнальных маршрутов, так что в случае отказа одного из них можно использовать резервное соединение.

Таким образом можно сказать о том, что Промышленный сетевой стандарт Industrial Ethernet – это один из самых востребованных промышленных сетевых стандартов. Из-за постоянно ускоряющегося процесса всемирной экономической, политической, культурной и религиозной интеграции и унификации компании занимаются оптимизацией и повышением эффективности своей деятельности, а сетевой стандарт легко дает возможность перепрограммировать внутреннюю структуру предприятий на нужные действия для улучшения всего процесса, что позволит выдавать наиболее качественный продукт и в большем количестве.

Библиографический список

1. Пронин Д. А. Журнал «ИСУП» [Электронный ресурс]: Industrial Etherne. Науч. Журн. – Электронный журнал: - Москва, 2009. - . Режим доступа: <https://isup.ru/articles/3/6017/>
2. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 958 с.
3. Автоматизированная система управления комплексом битумного производства / Журнал «СТА: Современные технологии автоматизации». Издательство «СТА – Пресс». – 2017. - №3. – С. 14-19.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	5
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ <i>Мышляев Л.П., Ивушкин К.А.</i>	7
ЦИФРОВИЗАЦИЯ СРЕДСТВ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПАО «ММК» <i>Спирин Н.А., Лавров В.В., Гурин И.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В., Шнайдер Д.А.</i>	12
СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ <i>Чичерин И.В., Федосенков Б.А.</i>	19
ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ <i>Чичерин И.В., Федосенков Б.А.</i>	25
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЕЦЕДЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДСТОЯЩЕЙ ПЛАВКОЙ СТАЛИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Кулаков С.М., Койнов Р.С., Тараборина Е.Н., Квашнин К.В.</i>	31
СЕКЦИЯ 1 АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ	41
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В ЦЕПИ РОТОРА <i>Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Маршев Д.А., Поползин И.Ю.</i>	43
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МРС-РЕГУЛЯТОРА <i>Колодин А.А., Ёлишин В.В., Овсяков А.Е.</i>	50
ОБ АЛГОРИТМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫМИ СТАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ <i>Ликсонова Д.И., Медведев А.В.</i>	54
СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ИЗ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ <i>Никитенко М.С., Кизилов С.А., Худоногов Д.Ю., Верховцев Д.О., Корец Д.М.</i>	59
К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ РАССТАНОВКИ ЧЛЕНОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ КОМАНД НА ШАХТАХ <i>Койнов Р.С., Ляховец М.В., Комаров В.В., Гурьянов П.С.</i>	64

КОМПЕНСАЦИЯ ЭФФЕКТА ЗАТЕНЕНИЯ БАШНИ ВЕТРОУСТАНОВОК СРЕДСТВАМИ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ <i>Чепига А.А., Юсеф А.</i>	69
ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЗАФИКСИРОВАННЫХ СОБЫТИЙ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА И ТРАНСПОРТА НА ШАХТАХ <i>Койнов Р.С., Ляховец М.В., Комаров В.В., Гурьянов П.С.</i>	73
РЕЗЕРВИРОВАНИЕ СЕРВЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АСУТП ОФ «ШАХТА №12» НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ КЛАСТЕРА ВЫСОКОЙ ДОСТУПНОСТИ <i>Кулюшин Г.А., Грачев В.В., Раскин М.В., Иванов Д.В., Макаров Г.В.</i>	78
АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОЧНО-СИНХРОННОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОУГОЛЬНОМ РАСТВОРЕ <i>Немцев А.Ю., Калашников С.Н.</i>	84
ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ УЗЛА В СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЕ <i>Грачев А.В.</i>	90
О КОНЦЕПЦИИ АВТОМАТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ «INDUSTRIAL 4.0» <i>Исаев Э.В., Михайлова О.В.</i>	93
УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ <i>Гусев С.С.</i>	97
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ <i>Кожевников А.А.</i>	106
О РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ У ГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Ефимов Н.Ю.</i>	113
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНОМ ГЕОМАССИВЕ ПРИ ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК <i>Павлова Л.Д., Петрова О.А., Фрянов В.Н.</i>	116
СЕКЦИЯ 2 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	123
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ОФ «ШАХТА №12» НА БАЗЕ ПАКЕТА AVEVA SYSTEM PLATFORM 2017 <i>Иванов Д. В., Мышляев Л.П., Кулюшин Г.А., Коровин Д.Е., Грачев В.В.</i>	125
О КОРРЕКТНОСТИ РАСЧЕТА СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНЕЧНОГО ШЛАКА В АРМ ТЕХНОЛОГА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ <i>Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В., Щипанов К.А.</i>	130

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНЕЧНОГО ШЛАКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ <i>Спирин Н.А., Гурин И.А., Лавров В.В., Щипанов К.А.</i>	134
ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ СОСТАВА И ОБЪЕМА ГОРНОЙ МАССЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫПУСКА ИЗ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ <i>Кизилов С.А., Никитенко М.С., Никитенко С.М.</i>	140
УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИЕЙ СТАЛЬНЫХ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПО КРИТЕРИЮ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ <i>Веревкин В.И., Веревкин С.В.</i>	146
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ГИДРОЦИКЛОНА КАК КОМПОНЕНТА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОИЗВОДСТВА <i>Скударнова Н.В., Макаров Г.В., Свинцов М.М.</i>	151
ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В АСУТП ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ <i>Загидулин И.Р., Саламатин А.С., Макаров Г.В., Коршунов С.Ю.</i>	155
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИСТОПРОКАТНОГО ЦЕХА <i>Фастыковский А.Р., Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	159
ПРИНЦИПЫ ВЕЙВЛЕТ-УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ДОЗИРОВАНИЯ В СМЕСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ <i>Федосенков Д.Б., Сулимова А.А., Симилова А.А., Федосенков Б.А.</i>	165
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ СИТУАЦИОННОГО ОЦЕНИВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКАЗОВ НА ПАРТИИ ПРОДУКЦИИ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА <i>Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н.</i>	171
РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ТАКТОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ СТАЛЕПРОВОЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА <i>Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н.</i>	178
РАЗРАБОТКА АСУТП НАГРЕВА ЗАГОТОВОК В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ <i>Сазонова Г.А., Темнохудов Д.Р., Куликов Е.С.</i>	187
ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АНОДНОЙ МЕДИ <i>Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В.</i>	191
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЗМОВ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОВОЗА КОКСОВОЙ БАТАРЕИ №1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Бабушкин С.В., Клевцов С.А.</i>	194
ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ SCADA-СИСТЕМЫ GENESIS64 В УСЛОВИЯХ ОФ ООО СП "БАРЗАССКОЕ ТОВАРИЩЕСТВО" <i>Коровин Д.Е., Грачев В.В., Мышляев Л.П., Раскин М.В., Пургина М.В.</i>	197

ИТЕРАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ И АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ, КАК КОМПОНЕНТЫ «УМНОГО ДОМА»	
<i>Гусев С.С.</i>	202
РАЗРАБОТКА АСУТП ВОДОСБРОСОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	
<i>Темнохудов Д.Р., Куликов Е.С., Сазонова Г.А.</i>	209
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ	
<i>Исаев Э.В., Михайлова О.В.</i>	214
ПОСТРОЕНИЕ АСУТП НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ	
<i>Куликов Е.С., Сазонова Г.А., Темнохудов Д.Р.</i>	220
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
<i>Сергушин К. В.</i>	224
РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ	
<i>Прищепя Я.И.</i>	228
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ КОВКИ МОДЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ-КРЕМНИЙ	
<i>Прудников А.Н.</i>	232
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ НАСТУПЛЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	
<i>Гусев С.С.</i>	238
СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ОСОБОЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Авдеев М.К., Девярых Е.А.</i>	246
СЕКЦИЯ 3 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ УЧЕБНОГО И СОЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	251
ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЙ	
<i>Клеванский Н.Н., Красников А.А., Петрова Т.Ю.</i>	253
ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ПОРТАЛА НЕПРЕРЫВНОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ	
<i>Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Власенко А.Е., Сизикова И.Л., Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н.</i>	260

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА SCHNEIDER ELECTRIC <i>Кубарев В.А., Аврангшоев А.Б., Кучик М.М., Сарсембин А.О., Галлямова О.Р.</i>	263
НОРМИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ В ЗАДАЧАХ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ <i>Пронин С.Ю., Добрынин А.С.</i>	268
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ К ПРОТИВОПРАВНОМУ ПОВЕДЕНИЮ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЁЖИ <i>Киндяков А.А., Каган Е.С.</i>	274
РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОРТАЛА НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ НФИ КЕМГУ <i>Ткачева Е.А.</i>	279
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АИС «ЭЛЕКТРОННАЯ ШКОЛА 2.0» ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ УЧРЕЖДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ <i>Федосов Н.В.</i>	284
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ <i>Резниченко Д. В.</i>	286
СЕКЦИЯ 4 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИКИ	293
МЕТОДИКА И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ВЫБОРА И РАСЧЁТА СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ <i>Гулевич Т.М., Брагин В.М., Макаров Г.В.</i>	295
МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ТЕСТОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ <i>Гулевич Т.М., Исаев Э.В.</i>	302
О ПОВЫШЕНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ, СОДЕРЖАЩЕЙ МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ПРОЕКТЫ <i>Каиркенов Х.К., Байдалин А.Д., Загидулин И.Р., Лейман А.Ф., Зимин В.В.</i>	310
НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И ОБРАБОТКЕ СОЦИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ <i>Каган Е.С., Багдасарян В.А., Киндяков А.А.</i>	316
МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД НА ОСНОВЕ ИТЕРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА IT-ПРОЕКТА <i>Пронин С.Ю., Добрынин А.С.</i>	321

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА МУЛЬТИСИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ <i>Новосельцева М.А., Гугова С.Г., Чуриков И.Ю.</i>	325
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ <i>Казанцев М.Е., Попов А.С., Саламатин А.С.</i>	331
ОБНАРУЖЕНИЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ МЕТОДАМИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ <i>Караванов А.В., Кириченко В.Н., Михов Е.Д.</i>	334
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ API НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НОМЕНКЛАТУРОЙ ТОВАРОВ С ПОМОЩЬЮ GRAPHQL <i>Стрелков А.В., Истомин А.С.</i>	339
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ИСХОДНОГО АУСТЕНИТА ЗЕРНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ EBSD <i>Демьяненко Е.О., Истомин А.С., Карабаналов М.С., Корниенко О.Ю.</i>	343
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ <i>Киселева Т.В., Маслова Е.В., Бычков А.Г.</i>	349
МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ЦИФРОВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР <i>Стародубов А.Н.^{1,2}, Пылов П.А.²</i>	354
РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ИХ РОЛЬ В СТАНОВЛЕНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ <i>Гусев С.С.</i>	358
АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В СИСТЕМЕ «МЕДИАЛОГИЯ ИНЦИДЕНТ» <i>Конюхова Е.С.</i>	366
ОЦЕНИВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ <i>Гизатулин Р.А.</i>	369
ОСОБЕННОСТИ СИТУАЦИОННО-НОРМАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НОРМ ВЫРОБОТКИ (НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЕНИЯ МЕДНЕНИЯ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА) <i>Кулаков С.М., Мусатова А.И.</i>	374
ОБЗОР ПРОГРАММ КЛАССА SIEM ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В БАНКОВСКОЙ СФЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Барышникова К.В.</i>	379

ВЫБОР ТАКТИКИ ВЕДЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ВНУТРИУТРОБНОЙ ИНФЕКЦИИ У НОВОРОЖДЁННОГО <i>Власенко А.Е., Григорьева Е.Ю., Ренге Л.В., Лихачева В.В.</i>	384
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ERP-СИСТЕМЫ SAP/R3 ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Ефимова Н.С.</i>	388
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОГРАММНО- АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Булакина Е.Н., Моисеев В.В., Недзельская О.Н., Бикинеева А.Н., Кетов А.В., Почуфаров Д.О.</i>	391
ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA. КАК АНАЛИЗИРУЮТ БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ <i>Кокорев И.С.</i>	398
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВУМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ <i>Бабушкина О.С., Калашников С.Н.</i>	400
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ КОМПОНЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОГО РАСПЛАВА В ЛИТЕЙНОМ МИКСЕРЕ <i>Мартусевич Е.А., Калашников С.Н.</i>	405
ПРОМЫШЛЕННЫЙ СЕТЕВОЙ СТАНДАРТ INDUSTRIAL ETHERNET <i>Ковынева В.Р.</i>	409

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2021**

**ТРУДЫ XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

(с международным участием)

2 – 3 декабря 2021 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 30.11.2021 г.

Формат бумаги 60x84 1/8. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 24,6. Уч.-изд. л 27,0. Тираж 300 экз. Заказ № 279

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ