

ISSN 2221-5182

Импакт-фактор РИНЦ: 0,485

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

№ 6(168) 2025

Главный редактор

Тарандо Е.Е.

Редакционная коллегия:

Воронкова Ольга Васильевна
Атабекова Анастасия Анатольевна
Омар Ларук
Левшина Виолетта Витальевна
Малинина Татьяна Борисовна
Беднаржевский Сергей Станиславович
Надточий Игорь Олегович
Снежко Вера Леонидовна
У Сунцзе
Ду Кунь
Тарандо Елена Евгеньевна
Пухаренко Юрий Владимирович
Курочкина Анна Александровна
Гузикова Людмила Александровна
Даукаев Арун Абалханович
Тютюнник Вячеслав Михайлович
Дривотин Олег Игоревич
Запивалов Николай Петрович
Пеньков Виктор Борисович
Джаманбалин Кадыргали Коныспаевич
Даниловский Алексей Глебович
Иванченко Александр Андреевич
Шадрин Александр Борисович

В ЭТОМ НОМЕРЕ:

МАШИНОСТРОЕНИЕ:

- Машиноведение
- Машины, агрегаты и технологические процессы
- Технология машиностроения
- Методы и приборы контроля и диагностики материалов

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

- Математическое моделирование и численные методы
- Информационная безопасность
- Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ:

- Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства
- Математические, статистические и инструментальные методы в экономике
- Региональная и отраслевая экономика
- Финансы
- Мировая экономика
- Менеджмент

Москва 2025

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

Журнал

«Наука и бизнес: пути развития»
выходит 12 раз в год.

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и
охране культурного наследия
(Свидетельство ПИ № ФС77-44212).

Учредитель

МОО «Фонд развития науки и
культуры»

Журнал «Наука и бизнес: пути
развития» входит в перечень ВАК
ведущих рецензируемых научных
журналов и изданий, в которых
должны быть опубликованы
основные научные результаты
диссертации на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук.

Главный редактор

Е.Е. Тарандо

Выпускающий редактор

В.С. Солодова

Редактор иностранного
перевода

Н.А. Гунина

Инженер по компьютерному
макетированию

В.С. Солодова

Адрес редакции:

г. Москва, ул. Малая Переяславская,
д. 10, к. 26

Телефон:

89156788844

E-mail:

nauka-bisnes@mail.ru

На сайте

<http://globaljournals.ru>

размещена полнотекстовая
версия журнала.

Информация об опубликованных
статьях регулярно предоставляется
в систему Российского индекса
научного цитирования
(договор № 2011/30-02).

Перепечатка статей возможна только
с разрешения редакции.

Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов.

Экспертный совет журнала

Тарандо Елена Евгеньевна – д.э.н., профессор кафедры экономическо-
й социологии Санкт-Петербургского государственного универ-
ситета; тел.: 8(812)274-97-06; E-mail: elena.tarando@mail.ru.

Воронкова Ольга Васильевна – д.э.н., профессор, председа-
тель редколлегии, академик РАЕН, г. Санкт-Петербург; тел.:
8(981)972-09-93; E-mail: nauka-bisnes@mail.ru

Атабекова Анастасия Анатольевна – д.ф.н., профессор, заведу-
ющая кафедрой иностранных языков юридического факультета
Российского университета дружбы народов; тел.: 8(495)434-27-12;
E-mail: aaatabekova@gmail.com.

Омар Ларук – д.ф.н., доцент Национальной школы информа-
тики и библиотек Университета Лиона; тел.: 8(912)789-00-32;
E-mail: omar.larouk@enssib.fr.

Левшина Виолетта Витальевна – д.т.н., профессор кафедры управ-
ления качеством и математических методов экономики Сибирского
государственного технологического университета; 8(3912)68-00-23;
E-mail: violetta@sibstu.krasnoyarsk.ru.

Малинина Татьяна Борисовна – д.социол.н., профессор кафе-
дры социального анализа и математических методов в социоло-
гии Санкт-Петербургского государственного университета; тел.:
8(921)937-58-91; E-mail: tatiana_malinina@mail.ru.

Беднаржевский Сергей Станиславович – д.т.н., профессор, за-
ведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Сургут-
ского государственного университета, лауреат Государственной
премии РФ в области науки и техники, академик РАЕН и Между-
народной энергетической академии; тел.: 8(3462)762-812; E-mail:
sbed@mail.ru.

Надточий Игорь Олегович – д.ф.н., профессор, заведующий
кафедрой философии Воронежской государственной лесотех-
нической академии; тел.: 8(4732)53-70-708, 8(4732)35-22-63;
E-mail: inad@yandex.ru.

Снежко Вера Леонидовна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой
систем автоматизированного проектирования и инженерных рас-
четов Российского государственного аграрного университета – Мо-
сковской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева;
тел.: 8(495)153-97-66, 8(495)153-97-57; E-mail: VL_Snejko@mail.ru.

У Сунцзе (Wu Songjie) – к.э.н., преподаватель Шаньдунско-
го педагогического университета (г. Шаньдун, Китай); тел.:
+86(130)21-69-61-01; E-mail: qdwucong@hotmail.com.

Ду Кунь (Du Kun) – к.э.н., доцент кафедры управления и развития
сельского хозяйства Института кооперации Циндаоского аграр-
ного университета (г. Циндао, Китай); тел.: 89606671587; E-mail:
tambovdu@hotmail.com.

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

Пухаренко Юрий Владимирович – д.т.н., член-корреспондент РААСН, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета; тел.: 89213245908; E-mail: tsik@spbgasu.ru.

Курочкина Анна Александровна – д.э.н., профессор, член-корреспондент Международной академии наук Высшей школы, заведующая кафедрой экономики предприятия природопользования и учетных систем Российского государственного гидрометеорологического университета; тел.: 89219500847; E-mail: kurochkinaanna@yandex.ru.

Морозова Марина Александровна – д.э.н., профессор, директор Центра цифровой экономики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург; тел.: 89119555225; E-mail: marina@russiatourism.pro.

Гузикова Людмила Александровна – д.э.н., профессор Высшей школы государственного и финансового управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург; тел.: 8(911)814-24-77; E-mail: guzikova@mail.ru.

Даукаев Арун Абалханович – д.г.-м.н., заведующий лабораторией геологии и минерального сырья Комплексного научно-исследовательского института имени Х.И. Ибрагимова РАН, профессор кафедры физической географии и ландшафтоведения Чеченского государственного университета, г. Грозный (Чеченская Республика); тел.: 89287828940; E-mail: daykaev@mail.ru.

Тютюнник Вячеслав Михайлович – к.х.н., д.т.н., профессор, директор Тамбовского филиала Московского государственного университета культуры и искусств, президент Международного Информационного Нобелевского Центра, академик РАЕН; тел.: 8(4752)50-46-00; E-mail: vmt@tmb.ru.

Дривотин Олег Игоревич – д.ф.-м.н., профессор кафедры теории систем управления электрофизической аппаратурой Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург; тел.: (812)428-47-29; E-mail: drivotin@yandex.ru.

Запывалов Николай Петрович – д.г.-м.н., профессор, академик РАЕН, заслуженный геолог СССР, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск; тел.: +7(383)333-28-95; E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru.

Пеньков Виктор Борисович – д.ф.-м.н., профессор кафедры математических методов в экономике Липецкого государственного педагогического университета, г. Липецк; тел.: 89202403619; E-mail: vbpenkov@mail.ru.

Джаманбаалин Кадыргали Коныспаевич – д.ф.-м.н., профессор, ректор Костанайского социально-технического университета имени академика Зулкарнай Алдамжар, г. Костанай (Республика Казахстан); E-mail: pkkstu@mail.ru.

Даниловский Алексей Глебович – д.т.н., профессор кафедры судовых энергетических установок, систем и оборудования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург; тел.: (812)714-29-49; E-mail: agdanilovskij@mail.ru.

Иванченко Александр Андреевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург; тел.: (812)321-37-34; E-mail: IvanchenkoAA@gumrf.ru.

Шадрин Александр Борисович – д.т.н., профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург; тел.: 321-37-34; E-mail: abshadrin@yandex.ru.

Содержание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Математическое моделирование и численные методы

Емельянов И.Е., Григорьева А.Л. Математическое моделирование и формализация задачи подбора параметров греющего провода при реализации зимнего бетонирования	10
Емельянов И.Е., Григорьева А.Л. Реализация программного комплекса численных алгоритмов для подбора параметров прогрева бетонных конструкций в зимних условиях методом греющего провода.....	18
Заболотный Д.А., Закурдаев В.В., Хусаинова К.А., Пермяков А.В. Математическое моделирование и обоснование целесообразности модернизации установки дегидрирования этилбензола	25
Пальмов С.В., Осипова А.А., Копылова Д.А. Тестирование возможностей SVM при решении задачи прогнозирования эмоций	31
Смирнов Г.С., Тынченко В.С. Оптимизация управляющих параметров однокубитной калибровки квантового процессора методом дифференциальной эволюции	35
Толчев В.В., Ахметов И.В. Информационно-аналитическая система оценки эффективности очистки нефти: исследование и анализ	40

Информационная безопасность

Orkhan Alibayli Comparative Analysis of DPI Techniques	44
Тимонов Д.А., Кондаков С.Е. Расчет глубины модуляции светового потока, создаваемой акустическими колебаниями	49

Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

Сулина О.В. Создание генераторов условий комплексных задач по начертательной геометрии.....	54
Тимофеев В.Н., Сергеев С.Н. Проблемы преподавания инженерно-графических дисциплин в техническом университете.....	61

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Машиноведение

Ермолаев М.М. К проектированию сопряжений деталей машин с начальным контактом в точке	66
Панкова К.В., Маслов А.И., Лизунов А.А. Особенности разработки уплотнительной манжеты обтюрирующего пояса летательного аппарата.....	72

Машины, агрегаты и технологические процессы

Михайлова С.В., Тимченко С.В. Оптимизация работы вибросита для разделения шлама... 78	78
Петрухин В.В., Петрухин С.В., Анашкина А.Е. Влияние частоты вращения вала электродвигателя на вибрацию скважинных электроприводных лопастных насосов	82
Токов А.З., Яхутлов А.А., Далелов К.Х., Имамов Р.М. Повышение энергоэффективности измельчителей пищевых продуктов за счет оптимизации конструкции режущих элементов	88

Токов А.З., Яхутлов А.А., Цикишев Т.В., Ахмед А.Р. Анализ конструктивных решений и разработка перспективной конструкции решётки для измельчителей мяса и других пищевых..... 94

Технология машиностроения

Romanov R.V., Karabontseva M.V., Timofeeva S.V., Levko V.A. Automation of Control of Geometric Characteristics of Complex-Profile Parts Using Coordinate Measuring Machines..... 99

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Козьмина И.С., Комаров П.А., Лизогуб Р.Д., Балаев П.А. Расчет паразитных параметров генератора импульсных напряжений и оценка их влияния на переходные процессы в установке..... 103

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Баженов Д.И., Валитов Д.Р., Карачева Г.А. Автоматизация как инструмент повышения устойчивости развития предприятий 107

Бирюкова А.А., Поликарпов М.П. Управление качеством добычных гибких райзеров при проектировании 111

Болдырев В.С., Меньшиков В.В., Байбикова В.В. Выбор и классификация конструктивных модулей при инжиниринге химико-технологических аппаратов 115

Соловьев Е.А., Спиридонова А.А. Метод оптимизации производственных процессов с целью прогнозирования дефектов изделий электронной компонентной базы при разработке, изготовлении и контроле 119

Сумбуров С.А., Овечкин Л.М. Разработка информационной модели системы анализа и управления качеством продукции радиоэлектронной отрасли..... 126

Цой М.И., Антипова Т.Н. Разработка модели риск-анализа для оценки качества печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры 130

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Злобина С.Л., Пешкова М.Н., Шаланова О.Н. Приоритетный подход в многокритериальной динамической модели достижения целевых характеристик сферы услуг 135

Региональная и отраслевая экономика

Качко С., Череднякова А.Б. Особенности формирования фотоконтента сайтов образовательных учреждений региональных вузов..... 140

Финансы

Ильин С.Ю. Корпоративная экономика в современных условиях хозяйствования..... 145

Мировая экономика

Горшкова Л.В. Экономика Японии: причины стагнации и перспективы развития..... 149

Менеджмент

Гончарова Н.А., Ошкордина А.А., Хаитова А.И. Успех в современном бизнесе: эволюция и современные тенденции менеджмента 155

УДК 621.311

М.Г. БАШИРОВ, Д.Ш. АКЧУРИН, Э.Р. ТАБАЕВ, И.В. ПРОКОФЬЕВ

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет», г. Салават

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

Ключевые слова: мультиагентные системы; нейронная сеть; учебный стенд; цифровой двойник; электроэнергетика.

Аннотация. В статье рассматривается разработка энергоинформационного комплекса с элементами искусственного интеллекта для дистанционного обучения в области электроэнергетики и электротехники. Цель исследования заключается в создании учебно-исследовательского комплекса для изучения мультиагентных систем с возможностью удаленного выполнения лабораторных работ.

В процессе исследования проведен анализ научно-технической литературы и патентной информации. При разработке нейросетевого алгоритма использованы метод обучения с учителем и регрессионный анализ.

Результатом исследования стал созданный программный комплекс, включающий цифровой двойник лабораторного стенда, исполнительную систему и модель нейронной сети. Разработанная модель позволяет осуществлять мониторинг состояния лабораторных стендов и проводить диагностику возникающих проблем на основе текущих показаний.

Введение

Актуальность работы: в современном мире сложность и изменчивость систем управления постоянно возрастают. Традиционные методы принятия решений уже не справляются с многокритериальным анализом больших объемов данных. Именно поэтому особую актуальность приобретают мультиагентные технологии как инновационный инструмент решения сложных

задач.

Главное преимущество этих технологий – способность к самоорганизации и адаптивному взаимодействию.

Целью данной статьи является разработка инновационного учебно-исследовательского комплекса с элементами искусственного интеллекта для проведения лабораторных работ по дисциплине «Мультиагентные системы искусственного интеллекта».

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе лаборатории Института нефтехимии и нефтепереработки в г. Салавате. В работе использовались физические стенды компании «ЛабСис»:

- «Модель электрической системы с узлом комплексной нагрузки» (МЭС-КН-СК);
- «Автоматизация электроэнергетических систем» (АЭС-СК).

Оборудование было расширено реальными и виртуальными объектами электроэнергетических систем с регулируемыми параметрами и современными средствами управления режимами электроснабжения.

Основные функциональные модули включают:

- модуль питания;
- модуль трехфазной сети;
- модули выключателей;
- модуль линии электропередачи;
- модуль активной нагрузки;
- модуль продольной компенсации.

Данная конфигурация обеспечивает имитацию различных режимов нагрузки и минимизацию потерь в линиях электроснабжения. Структурная схема комплекса представлена на рис. 1.

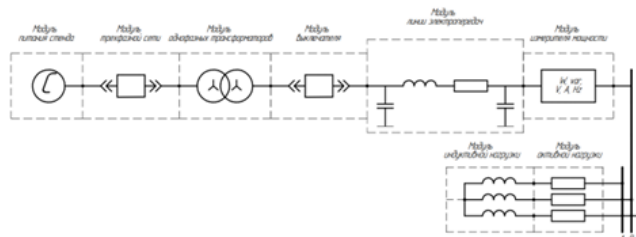


Рис. 1. Структурная схема применяемых модулей

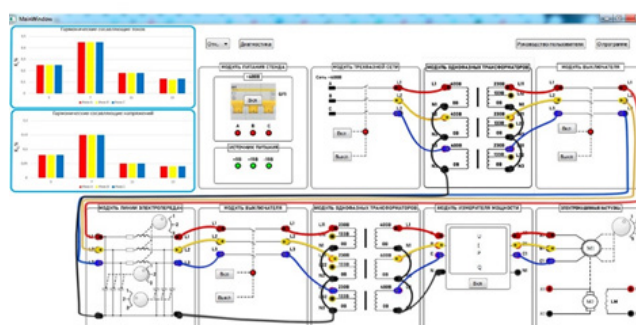


Рис. 2. Внешний вид цифрового двойника стенда «интеллектуальных систем диагностики электроэнергетических комплексов»

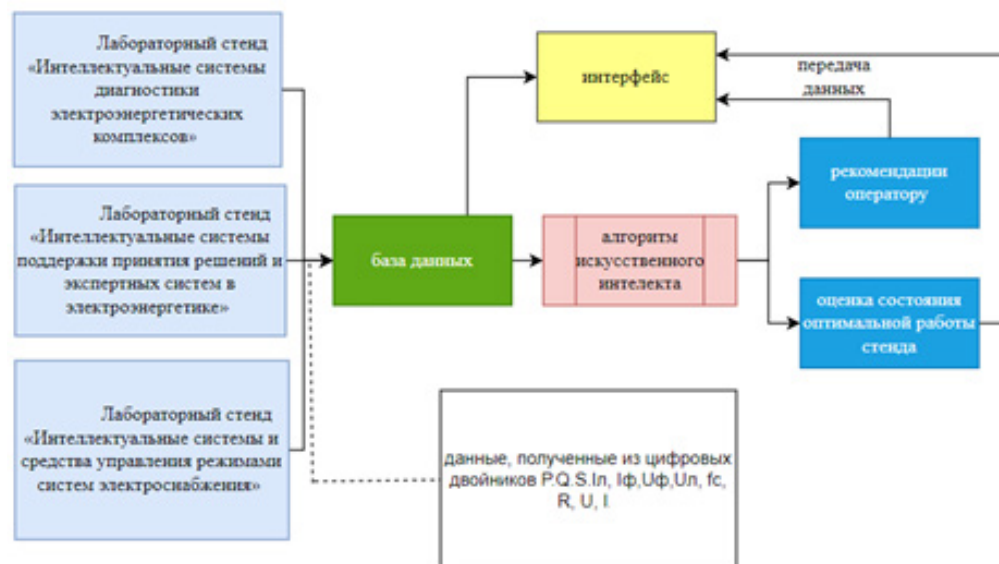


Рис. 3. Функциональная схема интеллектуальной системы

Другими группами студентов-магистрантов были разработаны виртуальные цифровые двойники, основанные на реальных физических стендах. Внешний вид интерфейсов представлен на рис. 2, 3 и 4.

Наша группа разработала мультиагентную систему на основе интеллектуального алгоритма для работы с цифровыми двойниками лабораторных стендов и сбора данных из библиотеки.

```
model_lab1 = CatBoostClassifier(iterations=100, depth=3, learning_rate=0.1, verbose=0)
model_lab2 = CatBoostClassifier(iterations=100, depth=3, learning_rate=0.1, verbose=0)
model_lab3 = CatBoostClassifier(iterations=100, depth=3, learning_rate=0.1, verbose=0)
```

Рис. 4. Блок кода обучения МА системы

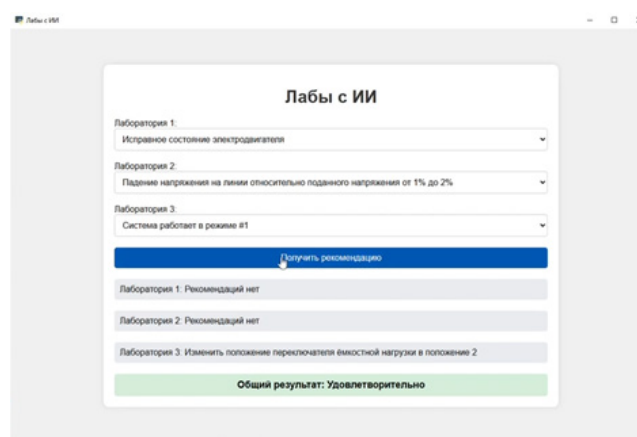


Рис. 5. Внешний вид интерфейса

Разработка включала следующие этапы:

- создание алгоритма программы;
- анализ параметров стендов;
- выбор языка и среды программирования;
- разработка мультиагентной системы;
- обучение нейронной сети.

На первом этапе была создана функциональная блок-схема алгоритма программы (рис. 3), которая легла в основу дальнейшей разработки системы.

Программное обеспечение функционирует следующим образом: собирает данные (ток, напряжение, сопротивление) с трех цифровых двойников, анализирует параметры через искусственный интеллект, выдает рекомендации оператору и оценку состояния стенда, отображает результаты в пользовательском интерфейсе.

В процессе разработки сначала производили сбор и анализ физических параметров стендов для обучения нейронной сети. Затем выбрали *Python* как основной язык программирования (с использованием *PyCharm*) и интегрировали необходимые библиотеки: *TensorFlow*, *Keras*, *PyQt5*, *Matplotlib*. Особое внимание уделили разработке взаимодействующих нейронных сетей, обеспечивающих связь с другими исследовательскими командами. Завершающим этапом стало написание программного кода и обучение нейронной сети, что позволило соз-

дать комплексную систему работы с данными, способную эффективно взаимодействовать с другими исследовательскими группами через интегрированные нейронные сети.

Результаты

На рис. 5 показан интерфейс программного обеспечения мультиагентной системы.

Программное обеспечение собирает данные с трех цифровых двойников (ток, напряжение, сопротивление), анализирует их через искусственный интеллект (ИИ) и отображает результаты в интерфейсе, выдавая рекомендации оператору.

При разработке произвели сбор физических параметров для обучения нейронной сети, выбрали *Python* с *PyCharm* и интегрировали библиотеки *TensorFlow*, *Keras*, *PyQt5*, *Matplotlib*. Разработали взаимодействующие нейронные сети для связи с другими командами, создали код и обучили систему, сформировав комплексную платформу для эффективного взаимодействия с исследовательскими группами.

Обсуждение

Исследования мультиагентных систем ИИ в электроэнергетике подтвердили эффективность разработанной программы для монито-

ринга и хранения показаний. Система позволяет получать детальные данные о работе каждого элемента стенда и формировать общую оценку состояния установки.

Полученные результаты способствуют улучшению подготовки специалистов инженерно-технических направлений и отвечают потребностям электроэнергетической отрасли в квалифицированных кадрах.

Вывод

Разработали учебно-лабораторный ком-

плекс на базе стенда ГК «ГалСен» для подготовки студентов по направлению «Электроэнергетика и электротехника». Комплекс реализует обучение в трех форматах: очном, дистанционном и смешанном с акцентом на применение искусственного интеллекта в электроэнергетике, включая работу с активно-адаптивными сетями.

В состав комплекса входит полное учебно-методическое обеспечение для проведения лабораторно-практических работ по дисциплине «Мультиагентные системы искусственного интеллекта» во всех форматах обучения.

Список литературы

1. Симонова, Е.В. Обучение распределенному решению сложных задач на основе мультиагентного подхода / Е.В. Симонова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2012. – № 8. – С. 352–362.
2. Победоносцева, В.В. Применение мультиагентных систем в электроэнергетике / В.В. Победоносцева // Труды Кольского научного центра РАН, 2012.
3. Анечков, М.И. Эволюционное обучение мультиагентных нейронных сетей / М.И. Анечков // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2012. – № 2-2(46). – С. 56–61.
4. Ибрагим, А.С. Сравнительный анализ искусственных нейронных сетей и мультиагентных систем / А.С. Ибрагим // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2021. – № 1(99). – С. 20–27.
5. Назойкин, Е.Н. Использование мультиагентных технологий для прогнозирования и идентификации процесса обучения / Е.Н. Назойкин // Пищевая промышленность. – 2015. – № 6. – С. 36–38.
6. Ташани, Н.А. Реализация мультиагентной системы управления качеством обучения за рубежом (мас УКО) по технологии экспертных систем / Н.А. Ташани // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. – С. 397–405.
7. Чарльз Джолли. Интеллектуальный агент и интерфейс для обеспечения расширенного поиска / Чарльз Джолли, Майкл Хэнсон, Чандрасекар Айер, Хайди Янг, Дэвид Баггерор, 2017. – С. 20170242899.
8. Digital twins and their use in future power systems / P. Palensky, M. Cvetkovic, D. Gusain, A. Joseph // Digital Twin. – 2022. – Vol. 1. – P. 4.
9. Титова, А.В. Цифровые двойники в повышении качества образовательных услуг / А.В. Титова, М.Ю. Сучкова // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2021. – № 4(58). – С. 57–63.

References

1. Simonova, Ye.V. Obucheniye raspredelennomu resheniyu slozhnykh zadach na osnove mul'tiagentnogo podkhoda / Ye.V. Simonova // Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye. – 2012. – № 8. – S. 352–362.
2. Pobedonostseva, V.V. Primeneniye mul'tiagentnykh sistem v elektroenergetike / V.V. Pobedonostseva // Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2012.
3. Anchekov, M.I. Evolyutsionnoye obucheniye mul'tiagentnykh neyronnykh setey / M.I. Anchekov // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2012. – № 2-2(46). – S. 56–61.
4. Ibragim, A.S. Sravnitel'nyy analiz iskusstvennykh neyronnykh setey i mul'tiagentnykh sistem / A.S. Ibragim // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2021. – № 1(99). –

S. 20–27.

5. Nazoykin, Ye.N. Ispol'zovaniye mul'tiagentnykh tekhnologiy dlya prognozirovaniya i identifikatsii protsessa obucheniya / Ye.N. Nazoykin // Pishchevaya promyshlennost'. – 2015. – № 6. – S. 36–38.

6. Tashani, N.A. Realizatsiya mul'tiagentnoy sistemy upravleniya kachestvom obucheniya za rubezhom (mas UKO) po tekhnologii ekspertnykh sistem / N.A. Tashani // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal), 2016. – S. 397–405.

7. Charl'z Dzholli. Intel'ektual'nyy agent i interfeys dlya obespecheniya rasshirennogo poiska / Charl'z Dzholli, Maykl Khenson, Chandrasekar Ayyer, Khaydi Yang, Devid Baggeror, 2017. – P. 20170242899.

8. Digital twins and their use in future power systems / P. Palensky, M. Cvetkovic, D. Gusain, A. Joseph // Digital Twin. – 2022. – Vol. 1. – P. 4.

9. Titova, A.V. Tsifrovyye dvoyniki v povyshenii kachestva obrazovatel'nykh uslug / A.V. Titova, M.YU. Suchkova // Tekhniko-tekhnologicheskiye problemy servisa. – 2021. – № 4(58). – S. 57–63.

© М.Г. Баширов, Д.Ш. Акчурин, Э.Р. Табаев, И.В. Прокофьев, 2025

УДК 004.032.26

*М.Г. БАШИРОВ, А.М. ХАФИЗОВ, А.В. НИКИТИН, Л.В. СУШЕНЦОВ**Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават*

ВНЕДРЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В УЧЕБНО-ИМИТАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ «ОВЕН» ДЛЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Ключевые слова: автоматизированные системы управления; имитационно-моделирующий комплекс; нейронные сети; оборудование «ОВЕН»; ПИД-регулятор; цифровой двойник.

Аннотация. В статье рассматривается современный подход к построению интеллектуальных систем автоматического управления, основанных на внедрении нейронных сетей в учебно-имитационный комплекс на базе программных и технических средств «ОВЕН». Описываются особенности разработки учебно-имитационного комплекса, включая архитектуру передачи данных через OPC-сервер и алгоритмы адаптивного управления. Представлены результаты экспериментов в виде программных решений по адаптивной настройке ПИД-регуляторов с использованием нейронных сетей. Полученный результат позволяет значительно улучшить динамические характеристики системы: снизить перерегулирование, уменьшить статическую ошибку и сократить время стабилизации. Это положительно влияет на переходные процессы и способствует повышению производительности технологического процесса.

Внедрение нейросетевых алгоритмов с отечественным оборудованием компании «ОВЕН» в учебно-имитационном комплексе представляет собой значительный шаг в сторону развития цифровой промышленности. В условиях постоянного роста требований к качеству, надежности и экономической эффек-

тивности управления современные автоматизированные системы управления (АСУ) играют ключевую роль в обеспечении бесперебойного функционирования технологических процессов, сокращении времени реакции на изменения и повышении общей устойчивости производственных систем. Изменение классических методов регулирования, основанных на жестко заданных алгоритмах, в интеллектуальных системах с нейросетевой коррекцией позволяет не только минимизировать влияние случайных факторов и ошибок оператора, но и существенно повысить эффективность управления [1].

Нейронные сети моделируют работу человеческого мозга, основываясь на биологических принципах функционирования нейронов. Эти сети состоят из большого количества искусственных нейронов, объединенных в слои и взаимодействующих между собой через весовые коэффициенты. Путем обучения на размеченных данных нейронные сети способны самостоятельно выявлять закономерности, делать прогнозы и принимать решения. В рамках проводимых исследований для анализа экспериментальных данных предлагается применить нейронную сеть с обратным распространением для оценки эффективности управления технологическим процессом в имитационно-моделирующем комплексе «Система автоматического управления» на основе программных и технических средств ПО «ОВЕН». Имитационно-моделирующий комплекс изображен на рис. 1 [2].

Процесс обучения нейронной сети с обратным распространением является ключевым



Рис. 1. Имитационно-моделирующий комплекс «ОВЕН»

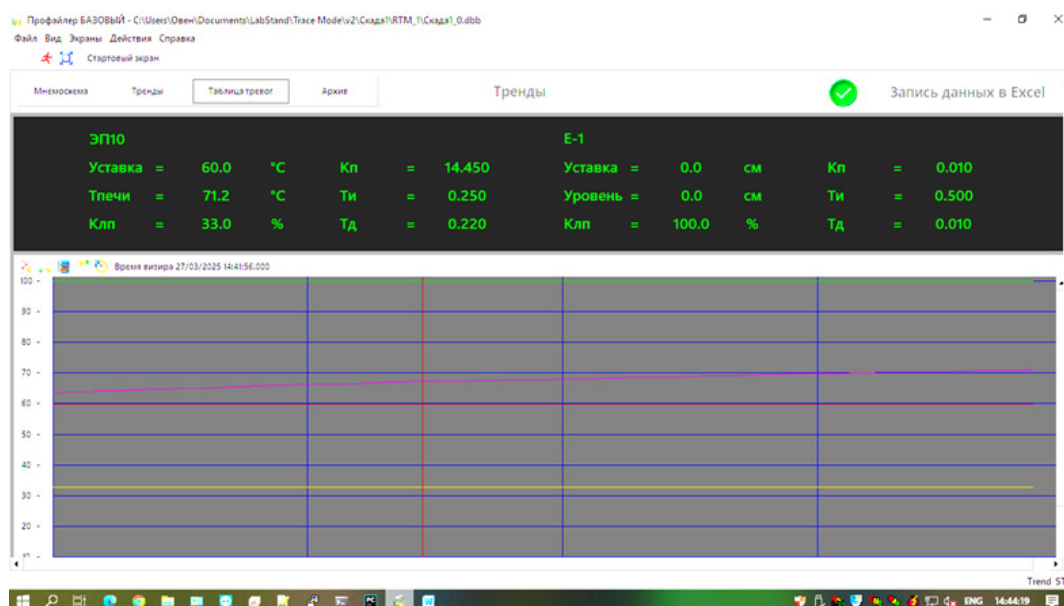


Рис. 2. Тренды и подобранные коэффициенты для ПИД-регулятора

за счет специального алгоритма обучения, в котором ошибка распространяется от выходного слоя к входному. Этот метод позволяет оптимизировать параметры сети, чтобы минимизировать ошибку между предсказаниями модели и истинными значениями целевой переменной.

Рассмотрим основные шаги процесса обучения нейронной сети с использованием обрат-

ного распространения.

1. Прямое распространение. Входные данные передаются через сеть слой за слоем. Каждый слой преобразует входные данные с помощью функций активации и передает их на выход следующему слою.

2. Вычисление ошибки. После прямого распространения сеть делает предсказание. Затем вычисляется разница между

```

18 def save_data(data):
19     try:
20         df = pd.read_csv("data.csv")
21     except FileNotFoundError:
22         # Если файл не существует, создаем его с нужными заголовками (без даты)
23         columns = ["Kp", "Ki", "Kd", "T_fact", "T_target"]
24         df = pd.DataFrame(columns=columns)
25
26     # Округляем коэффициенты до 2 знаков
27     data[0] = round(data[0], 2) # Kp
28     data[1] = round(data[1], 2) # Ki
29     data[2] = round(data[2], 2) # Kd
30     data[3] = round(data[3], 2) # T_fact
31     data[4] = round(data[4], 2) # T_target
32
33 save_data()

```

Run: main X

Соединения установлено с ('127.0.0.1', 50289)
 Получено: Kp=14.45, Ki=0.25, Kd=0.22, T_fact=07.0642, T_target=60.0
 Новые коэффициенты PID (с использованием модели): Kp=14.89, Ki=0.36, Kd=0.61
 Данные записаны в файл data.csv.
 Средняя абсолютная ошибка (MAE): 0.27713925427068414
 Среднеквадратичная ошибка (RMSE): 0.5143192446808269
 Коэффициент детерминации (R²): 0.9764072583595454
 Модель обучена.

Рис. 3. Результат работы программы по подбору коэффициентов ПИД-регулятора

```

1 import subprocess
2 import time
3 import socket
4 import json
5 import re
6 from testopc import write_to_opc
7
8 # Функция для чтения значения OPC тега
9 def read_opc(tag):
10     try:
11         result = subprocess.run(
12             ["C:\\OpenOPC\\bin\\opc.exe", "-r", tag, "-s", "CoDeSys.OPC.02"],
13             capture_output=True,
14             text=True
15         )

```

Run: main X

Соединения установлено с ('127.0.0.1', 50289)
 Получено: Kp=14.45, Ki=0.25, Kd=0.22, T_fact=07.0642, T_target=60.0
 Новые коэффициенты PID (с использованием модели): Kp=14.89, Ki=0.36, Kd=0.61
 Данные записаны в файл data.csv.
 Средняя абсолютная ошибка (MAE): 0.27713925427068414
 Среднеквадратичная ошибка (RMSE): 0.5143192446808269
 Коэффициент детерминации (R²): 0.9764072583595454
 Модель обучена.

Рис. 4. Результат работы программы OPC

предсказаниями модели и истинными значениями целевой переменной с помощью функции потерь.

3. Обратное распространение ошибки. Ошибка, вычисленная на предыдущем шаге, распространяется назад через сеть для вычисления градиентов функции потерь по отношению к параметрам сети.

4. Обновление весов. Градиенты, вычисленные на предыдущем шаге, используются для обновления весов сети с помощью оптимизационного алгоритма, такого как градиентный

спуск. Это позволяет уменьшить ошибку с каждой итерацией обучения.

5. Повторение. Вышеперечисленные шаги повторяются многократно до тех пор, пока ошибка на обучающем наборе данных не достигнет удовлетворительного уровня или пока не будет выполнен другой критерий остановки [3].

Учебно-имитационный комплекс «Система автоматического управления», разработанный на базе оборудования «ОВЕН», реализует принцип замкнутого контура управления с исполь-

зованием нейросетевых алгоритмов. В рамках этого комплекса данные, получаемые с датчиков, передаются на центральный контроллер, где осуществляется первичная обработка информации, путем преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Затем эта информация направляется в нейросетевую модель с помощью OPC-сервера, которая, обучаясь на основе исторических данных, способна в режиме реального времени корректировать значения коэффициентов ПИД-регулятора, что позволяет улучшить динамику системы и обеспечить более плавный переход в стационарное состояние без резких скачков управляющих сигналов [4]. Тренды, отражающие поведение системы с подобранными коэффициентами ПИД-регулятора, показаны на рис. 2.

На рис. 3 показан результат работы самой программы, написанной в *PyCharm* для подборки коэффициентов для ПИД-регулятора.

Передача данных с самого учебного стенда в программу осуществляется с помощью OPC-сервера, написанного также в *PyCharm*, как показано на рис. 4.

Разработка данных программ приводит к

значительному сокращению времени регулирования, уменьшению перерегулирования и снижению статической ошибки, что в итоге способствует повышению надежности и долговечности оборудования.

Внедрение нейросетевых алгоритмов в учебно-имитационный комплекс с использованием оборудования «ОВЕН» демонстрирует значительный потенциал для повышения качества управления в автоматизированных системах. Благодаря адаптивной корректировке коэффициентов ПИД-регуляторов с использованием нейронной сети удастся существенно улучшить динамические характеристики системы: снизить перерегулирование, уменьшить статическую ошибку и сократить время регулирования.

Все это способствует улучшению основных характеристик переходного процесса, что, в свою очередь, позволяет повысить производительность технологического процесса.

Этот подход расширяет перспективы развития цифровой промышленности и способствует практическому внедрению интеллектуальных систем управления в реальное производство на базе отечественного оборудования.

Список литературы

1. Комиссарчик, В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов / В.Ф. Комиссарчик // Тверь : ТГТУ. – 1995. – 247 с.
2. Баширов, М.Г. Лабораторный комплекс на основе микропроцессорных средств компании «ОВЕН» / М.Г. Баширов, Н.А. Кислицын, Д.Ш. Акчурин // Сетевое издание «Южно-Сибирский научный вестник» – 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://s-sibsb.ru/issues/108-2021-issues/issue-36/1069-15>.
3. Никитин, А.В. Применение нейронной сети в имитационно-моделирующем комплексе на базе технических средств «ОВЕН» / А.В. Никитин, Л.В. Сушенцов, Э.М. Баширова // Международная научно-методическая конференция «Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля» – 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://slv.rusoil.net/b/files/doc/banner/Sbornik-NM2024.pdf>.
4. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 606 с.

References

1. Komissarchik, V.F. Avtomaticheskoye regulirovaniye tekhnologicheskikh protsessov / V.F. Komissarchik // Tver' : TGTU. – 1995. – 247 s.
2. Bashirov, M.G. Laboratornyy kompleks na osnove mikroprotsessornykh sredstv kompanii «OVEN» / M.G. Bashirov, N.A. Kislytsyn, D.SH. Akchurin // Setevoye izdaniye «Yuzhno-Sibirskiy nauchnyy vestnik» – 2021 [Electronic resource]. – Access mode : <http://s-sibsb.ru/issues/108-2021-issues/issue-36/1069-15>.
3. Nikitin, A.V. Primeneniye neyronnoy seti v imitatsionno-modeliruyushchem komplekse na baze tekhnicheskikh sredstv «OVEN» / A.V. Nikitin, L.V. Sushentsov, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnaya

nauchno-metodicheskaya konferentsiya «Integratsiya nauki i obrazovaniya v vuzakh neftegazovogo profilya» – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://slv.rusoil.net/b/files/doc/banner/Sbornik-NM2024.pdf>.

4. Denisenko, V.V. Komp'yuternoye upravleniye tekhnologicheskimi protsessami, eksperimentom, oborudovaniyem / V.V. Denisenko. – M. : Goryachaya liniya – Telekom, 2013. – 606 s.

© М.Г. Баширов, А.М. Хафизов, А.В. Никитин, Л.В. Сушенцов, 2025

УДК 621.6

М.Г. БАШИРОВ, А.С. ХИСМАТУЛЛИН, И.В. БАЯЗИТОВ

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет», г. Салават

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ НА ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Ключевые слова: надежность; нейронная сеть; резервный источник питания; электроснабжение; *Keras*; *Feedforward*; *TensorFlow*.

Аннотация. В современном мире стабильное электроснабжение играет ключевую роль в обеспечении нормального функционирования как домашних, так и промышленных систем. Перебои с подачей электроэнергии способны вызывать существенные финансовые убытки и приводить к сбоям в работе критически важных объектов инфраструктуры. Внедрение резервных источников питания – эффективное решение для повышения устойчивости к перебоям. Для максимально эффективного использования этих источников необходима разработка интеллектуальных систем, способных прогнозировать и автоматизировать запуск резервных генераторов в ответ на изменения в потреблении или выход из строя основного источника.

Цель исследования – рассмотреть и исследовать возможности моделирования новейшей разработки (виртуального тренажера) и применения нейронной сети для автоматизации включения резервных источников на трансформаторной подстанции. Актуальность работы продиктована возрастающими требованиями к надежности и бесперебойности электроснабжения, особенно в условиях эксплуатации, где необходимо уделять особое внимание обеспечению стабильной работы. Для решения задачи включения резервных источников питания была использована простая *Feedforward* нейронная сеть (многослойный перцептрон) с одним скрытым слоем с использованием библиотек *Keras* и *TensorFlow*.

Гипотеза: традиционные системы управления резервированием, основанные на фиксированных пороговых значениях и релейной

логике, обладают ограниченной адаптивностью к изменяющимся режимам работы электросети и не способны обеспечивать прогнозирование аварийных ситуаций. В то же время нейронная сеть обучается на данных электросети (таких как напряжение, ток, частота, активная и реактивная мощность и прочее) и способна предсказывать необходимость переключения на резервные источники на основе анализа динамики этих параметров. Это, в свою очередь, позволяет существенно повысить надежность электроснабжения и снизить вероятность возникновения аварий.

Методы исследования: изучение литературных источников, сравнение, анализ данных, сценарный анализ в целях потенциальных вариантов развития.

Достигнутые результаты: в статье обоснована необходимость использования и последующей разработки виртуального лабораторного стенда, способствующего уменьшению числа ошибок, допускаемых автоматическим вводом резерва (АВР). Произведен поиск и анализ существующих аналогов программного продукта, создан лабораторный тренажер с применением искусственного интеллекта (ИИ), который используется в процессе обучения в Институте нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «УГНТУ» на кафедре «Электрооборудования и автоматизации промышленных предприятий».

Введение

Одной из наиболее перспективных областей применения ИИ в энергетике является управление энергосистемами [1–9]. Благодаря использованию алгоритмов машинного обуче-

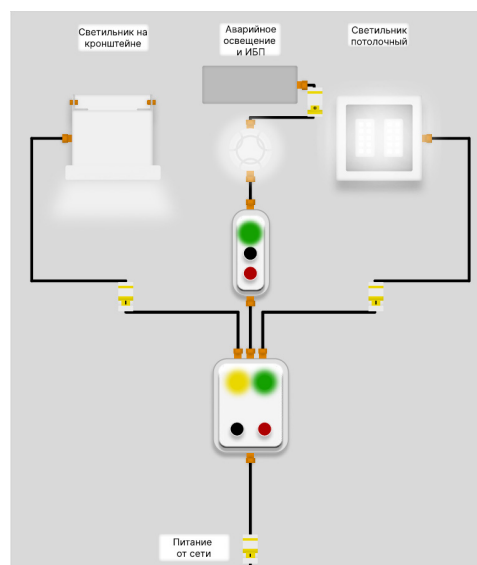


Рис. 1. Работа трех светильников от сети 220 В

ния ИИ может анализировать данные о потреблении и производстве энергии, предсказывать пиковые нагрузки и принимать решения об оптимальном распределении энергии для максимальной эффективности. Также ИИ может определять оптимальные параметры работы оборудования, управлять процессом производства и прогнозировать будущие изменения потребления энергии. Это помогает сократить затраты на производство энергии и улучшить ее качество.

Постановка задачи

В контексте управления резервными источниками питания нейронные сети могут быть использованы для анализа данных о состоянии электроэнергетической системы, предсказывая, когда следует включить резервные источники питания. Для решения задачи включения резервных источников питания использована нейронная сеть с одним скрытым слоем с использованием библиотек *Keras* и *TensorFlow*. Система мониторинга постоянно собирает значения входных параметров (напряжение, частота, нагрузка и другие). А для обучения нейронной сети использован набор синтетических данных, сгенерированный на основе анализа работы электросетей.

Цифровые двойники

Цифровые двойники лабораторных устано-

вок позволяют проводить лабораторные занятия в дистанционном формате с использованием *online* доступа через сеть Интернет. Он использует специализированные алгоритмы и методы обработки данных для анализа тока и напряжения, поступающих от вводных линий. Это позволяет выявлять различные повреждения системы электроснабжения установки. Цифровой двойник может быть легко интегрирован с системой управления лабораторного стенда, что снижает риск повреждения системы и обеспечивает непрерывность работы электрической сети. В процессе выполнения лабораторной работы с цифровым двойником обучающиеся учатся видеть и решать проблемы, которые могут возникнуть в дальнейшей работе на производстве.

Архитектура нейронной сети

Информационно-навигационная система (ИНС) состоит из трех слоев: входного, вычислительного и выходного.

Входной слой принимает данные о параметрах электрического режима (ток, напряжение, мощность и др.).

Вычислительный слой выполняет обработку данных с использованием нейронных связей и функций активации.

Выходной слой выдает управляющие сигналы для устройств резервирования и релейной защиты.

Количество нейронов в каждом слое определяется исходя из сложности задачи и объема обучающей выборки.

Для обучения ИНС используются различные алгоритмы, такие как алгоритм обратного распространения ошибки.

Выявлена образовательная ценность эксплуатации, анализа и управления санитарно-эпидемиологической службы (СЭС).

Изучение современных технологий: обучающиеся знакомятся с современными технологиями моделирования, машинного обучения и цифровых двойников.

Проведение научных исследований: комплекс предоставляет платформу для проведения исследований в области повышения надежности, эффективности и устойчивости работы СЭС.

Разработка новых алгоритмов и методов: обучающиеся и исследователи могут разрабатывать новые алгоритмы и методы управления СЭС на основе использования цифровых двойников и ИНС.

В целом данный лабораторный комплекс представляет собой передовое решение для подготовки высококвалифицированных специалистов в области электроэнергетики и проведения перспективных научных исследований.

Описание работы системы освещения

Система освещения состоит из трех основных светильников, подключенных к электросети. Каждый светильник предназначен для обеспечения основного освещения в поме-

щении.

Для повышения надежности системы предусмотрена система автоматического переключения на резервное питание от источника бесперебойного питания (ИБП) при пропадании основного питания на трансформаторной подстанции или возникновении аварийной ситуации. Система оснащена элементами ИИ, предназначенными для мониторинга состояния светильников и автоматического переключения на резервное питание.

Логика работы системы

Система ИИ в данном случае настроена не на поддержание оптимального уровня освещенности при единичных отказах, а на обеспечение минимального аварийного освещения только при полном выходе из строя основного освещения.

Закключение

Описанная система освещения представляет собой компромисс между экономией электроэнергии и обеспечением безопасности. Использование ИИ для активации ИБП только при полном отказе основного освещения позволяет продлить срок службы батарей ИБП и снизить затраты на электроэнергию [10–15]. Однако такая логика работы может привести к значительному снижению уровня освещенности при выходе из строя одного или двух основных светильников, что может быть небезопасно или неудобно в некоторых ситуациях.

Список литературы

1. Bashirov, M.G. Cooling System Oil-Immersed Transformers with the Use of a Circulating Sulfur Hexafluoride / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, E.V. Sirotina // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2020. – Vol. 641 LNEE. – P. 613–621.
2. Хисматуллин, А.С. Повышение эффективности электрохимической защиты / А.С. Хисматуллин, Т.Г. Загитов, Г.С. Прокоп // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2021. – № 2. – С. 127–139.
3. Хисматуллин, А.С. Система управления водогрейным котлом с использованием нечеткой логики / А.С. Хисматуллин, Р.Ш. Ишмуратов, А.М. Хафизов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 77–82.
4. Продление ресурса масляных трансформаторов с длительным сроком эксплуатации / О.О. Кривоконева, Р.И. Кудояров, Е.Ю. Мавлекаев [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2017. – Т. 17. – № 3. – С. 60–66.
5. Хисматуллин, А.С. Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения / А.С. Хисматуллин, М.Р. Сураков, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 24–30.

6. Повышение эффективности охлаждения маслонеполненных трансформаторов / А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Е.Г. Солдатова, Е.Ю. Мавлекаев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.
7. Bashirov, M.G. Modeling and Improvement of the Cathode Protection System of Pipelines of Gas Distribution Networks / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, D.N. Bilalova // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021, Sochi. – Sochi : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. – P. 596–600.
8. Патент № 2717230 С1 Российская Федерация, МПК H01F 27/08, H02H 5/04. Устройство элегазово-водяного охлаждения масляного трансформатора : № 2019122488 : заявл. 18.02.2019 : опубл. 19.03.2020 / М.Г. Баширов, А.С. Хисматуллин, К.А. Крышко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».
9. Колесниченко, Д.Б. Исследование дефектов в частотно-регулируемом электроприводе и изучение их влияния на спектры токов / Д.Б. Колесниченко, А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 26–31.
10. Колесников, И.Е. Виртуальная модель «Cableline» для исследования электротепловых процессов в силовом высоковольтном кабеле при внешних коротких замыканиях / И.Е. Колесников, К.Е. Горшков, А.В. Коржов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024667888, 31.07.2024. Заявка № 2024666321 от 16.07.2024.
11. Khismatullin, A.S. Method for increasing oil resources transformers with longterm operation / A.S. Khismatullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022058.
12. Коржов, А.В. Оценка эффективности средств защиты от перенапряжений в кабельной распределительной сети 10 кВ / А.В. Коржов, В.И. Сафонов, Р.М. Бабаев, Ян.Е. Коростелев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24. – № 2. – С. 18–26.
13. Коржов, А.В. Разработка алгоритма обнаружения дефектов в стеклянных изоляторах на основе компьютерного зрения с использованием нейросетевого подхода / А.В. Коржов, В.А. Сурин, М.А. Ческидова, П.В. Лонзингер, В.И. Сафонов, К.Н. Белов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2024. – Т. 16. – № 4. – С. 35–42.
14. Боев, М.В. Эффективная система охлаждения трансформаторов / М.В. Боев, С.А. Мирзоев, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 122–124.
15. Прогнозирование распределения повреждений силовых трансформаторов / А.А. Оснач, А.А. Нургалеев, Д.А. Сидоров, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 59–61.

References

3. Khismatullin, A.S. Sistema upravleniya vodogreynym kotlom s ispol'zovaniyem nechetkoy logiki / A.S. Khismatullin, R.SH. Ishmuratov, A.M. Khafizov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2022. – № 2. – S. 77–82.
4. Prodleniye resursa maslyanykh transformatorov s dlitel'nym srokom ekspluatatsii / O.O. Krivokoneva, R.I. Kudoyarov, Ye.YU. Mavlekayev [i dr.] // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – 2017. – Т. 17. – № 3. – S. 60–66.
5. Khismatullin, A.S. Issledovaniye vliyaniya transformatorov na kachestvo elektricheskoy energii v sisteme elektrosnabzheniya / A.S. Khismatullin, M.R. Surakov, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2020. – № 2. – S. 24–30.
6. Povysheniye effektivnosti okhlazhdeniya maslonapolnennykh transformatorov / A.S. Khismatullin, M.G. Bashirov, Ye.G. Soldatova, Ye.YU. Mavlekayev // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. – 2018. – Т. 24. – № 1. – S. 38–49.
8. Patent № 2717230 C1 Rossiyskaya Federatsiya, МПК H01F 27/08, H02H 5/04. Ustroystvo elegazovo-vodyanogo okhlazhdeniya maslyanogo transformatora : № 2019122488 : zayavl. 18.02.2019 :

opubl. 19.03.2020 / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, K.A. Kryshko ; zayavitel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskii universitet».

9. Kolesnichenko, D.B. Issledovaniye defektov v chastotno-reguliruyemom elektroprivode i izucheniye ikh vliyaniya na spektry tokov / D.B. Kolesnichenko, A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal. – 2021. – № 5. – S. 26–31.

10. Kolesnikov, I.Ye. Virtual'naya model' «Cableline» dlya issledovaniya elektroteplovyykh protsessov v silovom vysokovol'tnom kabele pri vneshnikh korotkikh zamykaniyakh / I.Ye. Kolesnikov, K.Ye. Gorshkov, A.V. Korzhov // Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2024667888, 31.07.2024. Zayavka № 2024666321 ot 16.07.2024.

12. Korzhov, A.V. Otsenka effektivnosti sredstv zashchity ot perenapryazheniy v kabel'noy raspredelit'noy seti 10 kV / A.V. Korzhov, V.I. Safonov, R.M. Babayev, Yan.Ye. Korostelev // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – 2024. – T. 24. – № 2. – S. 18–26.

13. Korzhov, A.V. Razrabotka algoritma obnaruzheniya defektov v steklyannykh izolyatorakh na osnove komp'yuternogo zreniya s ispol'zovaniyem neyrosetevogo podkhoda / A.V. Korzhov, V.A. Surin, M.A. Cheskidova, P.V. Lonzinger, V.I. Safonov, K.N. Belov // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika. – 2024. – T. 16. – № 4. – S. 35–42.

14. Boyev, M.V. Effektivnaya sistema okhlazhdeniya transformatorov / M.V. Boyev, S.A. Mirzoyev, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 122–124.

15. Prognozirovaniye raspredeleniya povrezhdeniy silovykh transformatorov / A.A. Osnach, A.A. Nurgaleyev, D.A. Sidorov, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 59–61.

© М.Г. Баширов, А.С. Хисматуллин, И.В. Баязитов, 2025

УДК 621.6

*Э.М. БАШИРОВА, С.А. МИРЗОЕВ, Р.А. КОРНИЛАЕВ**Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет», г. Салават*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГАЗОВАННОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Ключевые слова: безопасность; загазованность; система; электроустановка.

Аннотация. Электроустановки широко применяются в энергетике, промышленности и транспорте, их надежная работа напрямую влияет на стабильность технологических процессов и безопасность персонала.

Целью статьи является разработка интеллектуальной системы идентификации загазованности, ориентированной на повышение уровня безопасности электроустановок.

Задачи: проанализировать существующие методы и технические средства обнаружения загазованности, применяемые в системах обеспечения промышленной и энергетической безопасности; определить типы газов и их предельно допустимые концентрации, представляющие наибольшую опасность в контексте работы электроустановок; реализовать алгоритмы обработки и интерпретации сенсорных данных с применением методов искусственного интеллекта для идентификации опасных уровней загазованности; оценить эффективность предложенной системы по сравнению с традиционными методами контроля загазованности.

Гипотеза: предлагаемая система будет основываться на использовании современных сенсорных технологий и алгоритмов обработки данных с элементами искусственного интеллекта, что позволит существенно повысить эффективность контроля и снизить вероятность аварийных ситуаций.

Достигнутые результаты: результатом является созданный цифровой двойник на базе взрывозащищенного лабораторного стенда.

Введение

Одним из факторов риска при эксплуатации электроустановок является загазованность окружающей среды. Повышенная концентрация горючих, токсичных или взрывоопасных газов может привести к аварийным ситуациям, пожарам или взрывам, особенно в условиях наличия источников искрения [1]. В связи с этим актуальной задачей является своевременное обнаружение опасных газовых концентраций вблизи электрооборудования [2].

Традиционные системы газового контроля, как правило, являются пассивными и не обладают достаточной интеллектуальной гибкостью. Они зачастую не учитывают комплекс факторов окружающей среды, имеют ограниченные возможности по адаптации к изменяющимся условиям и не способны к самостоятельному принятию решений [3]. Поэтому необходимо внедрить интеллектуальные системы, способные в реальном времени анализировать данные с различных датчиков, выявлять опасные тенденции и оперативно реагировать на возможные угрозы. Одним из факторов риска при эксплуатации электроустановок является загазованность окружающей среды [4]. Повышенная концентрация горючих, токсичных или взрывоопасных газов может привести к аварийным ситуациям, пожарам или взрывам, особенно в условиях наличия источников искрения [5]. В связи с этим актуальной задачей является своевременное обнаружение опасных газовых концентраций вблизи электрооборудования [6].

В этом контексте на первый план выходит необходимость внедрения интеллектуальных

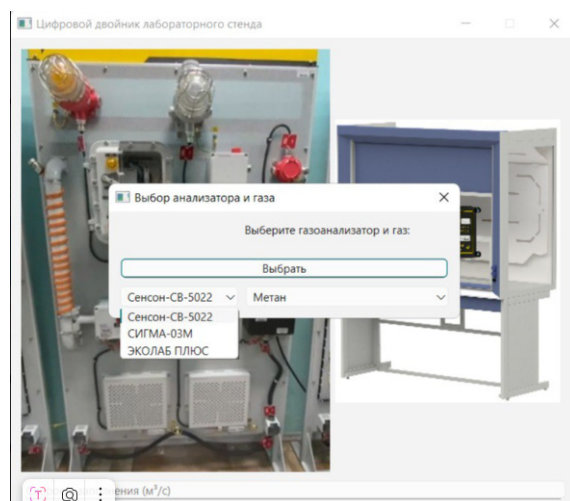


Рис. 1. Интерфейс цифрового двойника с возможностью выбора оборудования

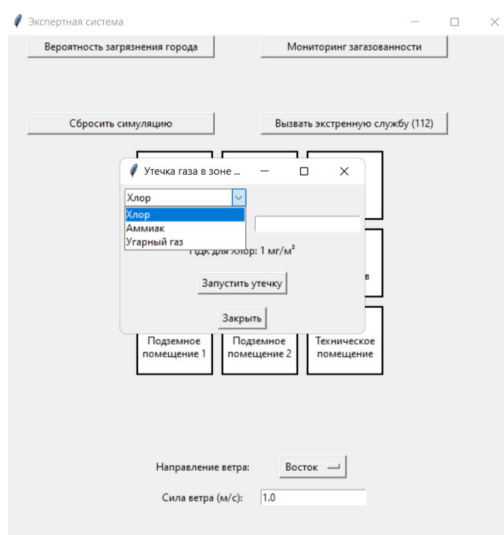


Рис. 2. Выбор параметров в программе

систем, способных в реальном времени анализировать данные с различных датчиков, выявлять опасные тенденции и оперативно реагировать на возможные угрозы [7].

Разработка интеллектуальной системы идентификации загазованности

Разработка описываемого цифрового двойника выполнена на базе взрывозащищенного лабораторного стенда, эксплуатируемого в Институте нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «УГНТУ» (г. Салават) [8].

Принцип действия лабораторного стен-

да заключается в автоматической сигнализации о наличии или отсутствии загазованности воздушной среды при его активации. Однако существенным ограничением данного стенда является отсутствие функциональной гибкости, а именно невозможность выбора типа газоанализатора и обнаруживаемых газов.

Разработка цифрового двойника устраняет данное ограничение. Пользовательский интерфейс разработанного программного обеспечения предоставляет возможность выбора различных типов газоанализаторов и задания параметров для обнаружения конкретных га-

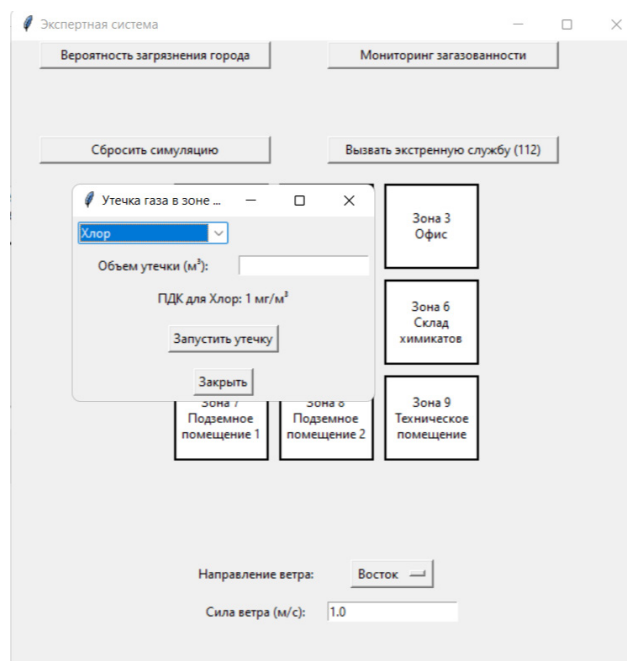


Рис. 3. Выбор параметров в программе

зов. Внедрение данного программного продукта способствует повышению качества образовательного процесса, а также увеличивает уровень удовлетворенности студентов за счет возможности интерактивного изучения принципов работы систем мониторинга загазованности [9]. Разработанное программное обеспечение представляет собой экспертную систему, реализованную с использованием нейронной сети и написанную на языке программирования *Python*. Обучение нейронной сети осуществлялось по методу градиентного спуска, который является одним из наиболее распространенных алгоритмов оптимизации в области машинного обучения [10].

Суть данного метода заключается в минимизации функции ошибки путем вычисления градиента и корректировки весовых коэффициентов связей нейронной сети. Использование градиентного спуска позволило достичь высокой точности прогнозирования, составившей 93 %.

Разработанная система выполняет анализ и формирует прогноз уровня загрязнения предприятия и ближайшего населенного пункта на основе следующих входных параметров: численность персонала; вероятность взрыва электрооборудования при загазованности помещения; объем утечки; максимальный воз-

можный объем утечки; направление ветра; скорость ветра; диффузия; тип и размер помещения.

Система учитывает различные категории помещений, которые могут быть заданы пользователем в соответствии с характеристиками конкретного объекта.

Прогнозирование загрязнения с помощью данной экспертной системы позволяет существенно повысить качество и оперативность принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций, что, в свою очередь, способствует повышению уровня промышленной безопасности. Эффективность системы напрямую зависит от регулярного обновления и пополнения базы данных для обеспечения актуальности и надежности прогнозов.

Заключение

В ходе выполнения работы решена задача, связанная с обеспечением промышленной безопасности на объектах, использующих электроустановки. Разработана концепция интеллектуальной системы идентификации загазованности, способной в режиме реального времени выявлять превышение предельно допустимых концентраций газов, представляющих потенциальную угрозу [11].

Проанализированы существующие методы газового контроля, определены типы наиболее опасных газов и их влияние на работу электроустановок. На основе этого осуществлен выбор сенсорных компонентов и предложена архитектура системы, включающая модули сбора, обработки и анализа данных. Реализация алгоритмов с использованием методов искусственного интеллекта позволила повысить точность диагностики и сократить время реакции системы на возникновение опасных ситуаций [12].

Проведенное тестирование подтвердило работоспособность разработанного прототипа

и продемонстрировало его преимущества по сравнению с традиционными системами газового мониторинга. Полученные результаты показывают, что внедрение подобных интеллектуальных решений способствует повышению уровня автоматизации и безопасности на промышленных объектах [13].

Разработанная система может быть использована в качестве основы для создания полноценных промышленных решений, а также может быть масштабирована для применения в других областях, где необходим непрерывный контроль загазованности [14].

Список литературы

1. Колесниченко, Д.Б. Исследование дефектов в частотно-регулируемом электроприводе и изучение их влияния на спектры токов / Д.Б. Колесниченко, А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 26–31.
2. Хисматуллин, А.С. Повышение эффективности электрохимической защиты / А.С. Хисматуллин, Т.Г. Загитов, Г.С. Прокоп // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2021. – № 2. – С. 127–139.
3. Хисматуллин, А.С. Разработка вариантов мнемосхем объектов электросетевого хозяйства / А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова, И.А. Воронов // Международный технический журнал. – 2024. – № 4(91). – С. 45–52.
4. Моделирование бурения скважин на основе когнитивного подхода / Я.Е. Гаримадов, А.С. Хисматуллин, А.М. Хафизов, Э.И. Хизбуллина // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 5(131). – С. 64–66.
5. Хисматуллин, А.С. Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения / А.С. Хисматуллин, М.Р. Сураков, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 24–30.
6. Повышение эффективности охлаждения маслонаполненных трансформаторов / А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Е.Г. Солдатова, Е.Ю. Мавлекаев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.
7. Vasilev, I. The theory of fuzzy sets as a means of assessing the periods of service of asynchronous electric motors / I. Vasilev, A. Hismatullin // Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, 2020. – P. 9111887.
8. Khismatullin, A.S. Automated software to determine thermal diffusivity of oilgas mixture / A.S. Khismatullin // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk. Vol. 1015, 5. – Tomsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 052013.
9. Колесниченко, Д.Б. Исследование дефектов в частотно-регулируемом электроприводе и изучение их влияния на спектры токов / Д.Б. Колесниченко, А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 26–31.
10. Хисматуллин, А.С. Аспекты работы трансформаторов главной понизительной подстанции с разработкой рационального узла электроснабжения / А.С. Хисматуллин, Р.Р. Юлбарисова, С.С. Фаизов, А.А. Сабирьянова // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 4. – С. 72–79.
11. Khismatullin, A.S. Method for increasing oil resources transformers with longterm operation / A.S. Khismatullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022058.
12. Khismatullin, A.S. Development of measures to optimize the transformers loading /

A.S. Khismatullin // Proceedings – 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022, 2022. – P. 1014–1018.

13. Прогнозирование распределения повреждений силовых трансформаторов / А.А. Оснач, А.А. Нургалеев, Д.А. Сидоров, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 59–61.

14. Боев, М.В. Эффективная система охлаждения трансформаторов / М.В. Боев, С.А. Мирзоев, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 122–124.

References

1. Kolesnichenko, D.B. Issledovaniye defektov v chastotno-reguliruyemom elektroprivode i izucheniye ikh vliyaniya na spektry tokov / D.B. Kolesnichenko, A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2021. – № 5. – S. 26–31.

2. Khismatullin, A.S. Povysheniye effektivnosti elektrokhimicheskoy zashchity / A.S. Khismatullin, T.G. Zagitov, G.S. Prokop // Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoye delo. – 2021. – № 2. – S. 127–139.

3. Khismatullin, A.S. Razrabotka variantov mnemoskhem ob"yektov elektrosetevogo khozyaystva / A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova, I.A. Voronov // Mezhdunarodnyy tekhnicheskij zhurnal. – 2024. – № 4(91). – S. 45–52.

4. Modelirovaniye bureniya skvazhin na osnove kognitivnogo podkhoda / YA.Ye. Garimadov, A.S. Khismatullin, A.M. Khafizov, E.I. Khizbullina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 5(131). – S. 64–66.

5. Khismatullin, A.S. Issledovaniye vliyaniya transformatorov na kachestvo elektricheskoy energii v sisteme elektrosnabzheniya / A.S. Khismatullin, M.R. Surakov, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2020. – № 2. – S. 24–30.

6. Povysheniye effektivnosti okhlazhdeniya maslonapolnennykh transformatorov / A.S. Khismatullin, M.G. Bashirov, Ye.G. Soldatova, Ye.YU. Mavlekayev // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. – 2018. – T. 24. – № 1. – S. 38–49.

9. Kolesnichenko, D.B. Issledovaniye defektov v chastotno-reguliruyemom elektroprivode i izucheniye ikh vliyaniya na spektry tokov / D.B. Kolesnichenko, A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2021. – № 5. – S. 26–31.

10. Khismatullin, A.S. Aspekty raboty transformatorov glavnoy ponizitel'noy podstantsii s razrabotkoy ratsional'nogo uzla elektrosnabzheniya / A.S. Khismatullin, R.R. Yulbarisova, S.S. Faizov, A.A. Sabir'yanova // Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem. – 2023. – № 4. – S. 72–79.

13. Prognozirovaniye raspredeleniya povrezhdeniy silovykh transformatorov / A.A. Osnach, A.A. Nurgaleyev, D.A. Sidorov, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 59–61.

14. Boyev, M.V. Effektivnaya sistema okhlazhdeniya transformatorov / M.V. Boyev, S.A. Mirzoyev, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 122–124.

© Э.М. Баширова, С.А. Мирзоев, Р.А. Корнилаев, 2025

УДК 621.6

Д.А. ГОРШКОВ, А.М. ХАФИЗОВ, А.С. ХИСМАТУЛЛИН

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОБОРОТНОГО УЗЛА ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛБЕНЗОЛА И СТИРОЛА

Ключевые слова: автоматизация; водооборотный узел; система; стирол; этилбензол.

Аннотация. Автоматизированная система оценки качества ведения технологического режима представляет собой идею, которая приводит к экономически эффективным стратегиям эксплуатации в режиме реального времени, включая сокращение нерентабельного использования воды, энергии и перерывов в обслуживании.

Цель и новизна работы – показать полезность системы автоматизации как системы поддержки принятия решений для технологического режима водооборотного узла производства этилбензола и стирола воды.

Задача – смоделировать программу, которая быстро и плавно перемещает данные между пунктами, также устраняет барьеры, созданные традиционными инженерными функциями, улучшает сотрудничество и рабочие процессы, позволяет решать проблемы.

Гипотеза: автоматизированная система оценки качества ведения технологического режима обеспечит интеграцию систем, улучшит управление данными и повысит эффективность совместной работы. Совершенствование водооборотного узла предоставляет возможности для прогнозирования и оптимизации в реальном времени для эффективного принятия решений в водооборотном узле производства этилбензола и стирола воды.

Достигнутые результаты: результатом является доступ к критически важным системам и информации о производительности и рисках отдельных активов, что улучшает решения по планированию капиталовложений, снижает риски и обеспечивает поставку безопас-

ной и надежной воды клиентам. В этой статье разработана структура автоматизированной системы оценки качества водооборотного узла производства этилбензола и стирола для достижения более высокой операционной эффективности на основе *Python*.

Введение

Применение интеллектуальных технологий и больших данных продолжает расти, увеличивается и их потребность во внедрении автоматизированной системы оценки качества ведения технологического режима, которая связывает эти технологии. С помощью созданной программы «Автоматизированная система оценки качества» (АСОК) отслеживаются тренды событий и ожидаемое поведение системы с помощью мониторинга данных датчиков в режиме реального времени. Персонал может выполнять расчеты водного баланса и минимального ночного расхода. Вы можете понять и сравнить потери воды между различными зонами, включая разделение между реальными потерями, которые происходят из-за утечек и относительно постоянны в течение дня, и кажущимися потерями, которые следуют закономерностям, аналогичным общему спросу. Резкое или непрерывное увеличение расхода или снижение давления, не объясняемое ничем другим (например, пожаром или особым событием), также могут указывать на наличие новой утечки. АСОК автоматически рассчитывает ожидаемые закономерности и прогнозы для каждого датчика и зоны с помощью искусственного интеллекта и статистических алгоритмов [1–9].

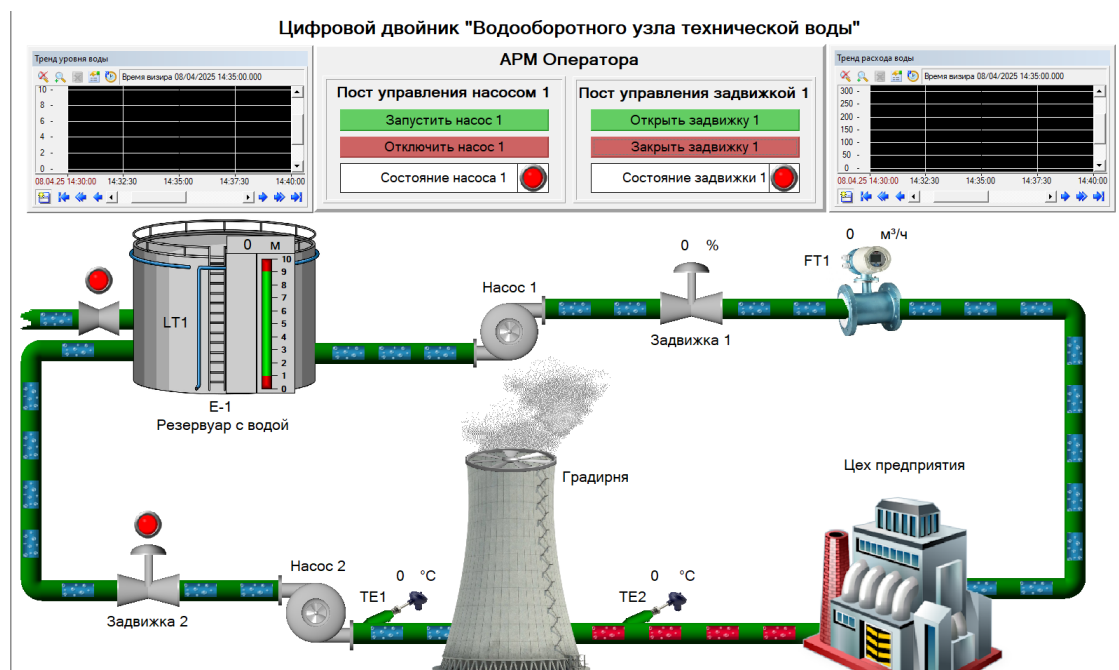


Рис. 1. Автоматизированная система оценки качества ведения технологического режима

Автоматизированная система оценки качества

Концепция АСОК получаемых данных с технологического режима включает следующие компоненты: сбор и хранение данных, анализ и визуализация данных, обратная связь и корректировка, безопасность и конфиденциальность, масштабируемость и адаптивность, интеграция с другими системами (возможность интеграции с другими системами предприятия), пользовательский интерфейс. Эта концепция может быть адаптирована и детализирована в соответствии с конкретными требованиями и условиями использования на предприятии.

АСОК может автоматически запускать оповещения в реальном времени, когда данные датчика выходят за рамки ожидаемого рабочего поведения. Объемы, потерянные в каждом событии, автоматически вычисляются, что позволяет операторам управлять этими событиями с помощью обновлений статуса, классификаций категорий и комментариев, улучшая время реагирования и обслуживание.

Оптимизация насосов соответствует энергоэффективности, для очистки и распределения воды требуется много энергии. Энергозатраты часто составляют до 35 % от общих расходов

на эксплуатацию и техническое обслуживание установок, а энергия насосов может составлять до 60 % от общего потребления электроэнергии водоканалом. Поскольку спрос на воду продолжает расти, возникает необходимость применения АСОК, чтобы повысить эффективность работы системы водоснабжения за счет оптимизации производительности насосов и, таким образом, минимизации потребления энергии. С помощью АСОК операторы и инженеры могут понимать данные о производительности насосов, выполнять моделирование в различных условиях эксплуатации и принимать обоснованные решения по техническому обслуживанию и модернизации насосов. Отслеживая рабочие точки в реальном времени с помощью АСОК, операторы могут импортировать данные о производительности насосов и сравнивать эксплуатационные данные с кривыми насосов, чтобы отобразить, насколько хорошо рабочая точка соответствует точке наилучшей эффективности. Они могут сравнивать работу насосов за исторические периоды времени, извлекая данные о насосах за разное время, чтобы увидеть, меняется ли производительность. Благодаря интеграции легкодоступных данных SCADA или других телеметрических данных АСОК может рассчитывать эффективность, по-

требляемую энергию и потенциальные затраты на неэффективность, что может помочь операторам определить приоритетные насосы для вмешательства и предоставить подсказки для устранения проблемы, повышая энергоэффективность при одновременном снижении затрат на энергию и выбросов углекислого газа.

Улучшение управления давлением, сокращение отключений и улучшение времени реагирования, наличие безопасного и надежного водоснабжения являются самыми важными факторами для клиентов.

С помощью программы АСОК могут быть обнаружены ошибки в сетевых событиях, таких как утечки, разрывы и отказы счетчиков. Используя АСОК, например, из-за снижения давления из-за разрыва, сокращается время реагирования, улучшается обслуживание и снижаются эксплуатационные расходы. Используя в качестве основы оперативную гидравлическую модель в реальном времени, которая постоянно обновляется с граничными условиями от датчиков, операторы могут легко понять области низкого или высокого давления и зоны с высоким уровнем возраста воды или низким уровнем хлора, что позволяет более активно управлять системой. В случае чрезвычайного события, такого как разрыв трубы, пожарный поток или внезапное отключение насоса, операторы могут легко определить последствия по всей системе. В случае разрыва трубы операторы могут дополнительно определить наименьшие сегменты и ближайшие клапаны, которые необходимо закрыть, чтобы свести к минимуму перерыв в обслуживании.

Мониторинг и прогнозирование качества воды в резервуарах и по всей сети может помочь контролировать любой параметр качества воды, предупреждать об аномальных ситуациях и консультировать вас о лучших мерах по обеспечению и улучшению качества воды. Улучшение процесса принятия решений с помощью АСОК водоснабжения может объединить все источники данных в единое совместимое решение, чтобы лучше понять производительность своей системы. После того, как данные будут переданы, появится бесчисленное множество возможностей для улучшения рабочих процессов, пошаговых инструкций и модели-

рования, что предоставит эксплуатационным и инженерным отделам улучшенную видимость системных данных и идей, которые помогут им прийти к наилучшему решению проблемы.

Заключение

Решение о внедрении варианта на основе АСОК обусловлено необходимостью стать более рентабельной организацией, оптимизировать операции, удовлетворять растущие потребности и снижать риски.

В ходе выполнения работы рассмотрена и проанализирована действующая система управления и контроля за ведением технологического режима водооборотного узла в производстве этилбензола и стирола. Для повышения надежности и эффективности функционирования водооборотного узла предложена и обоснована модель усовершенствованной автоматизированной системы оценки качества технологического режима. В рамках проекта реализованы следующие мероприятия:

- разработан усовершенствованный алгоритм сбора, обработки и анализа данных с использованием современных средств автоматизации;
- предложена схема интеграции новых средств контроля и диагностики в существующую архитектуру системы;
- определены ключевые параметры, влияющие на стабильность и надежность работы водооборотного узла;
- проведена оценка эффективности предложенных решений, показавшая улучшение точности диагностики отклонений и снижение времени реакции на изменения технологического режима [10–14].

Реализация разработанной системы позволит повысить общий уровень автоматизации технологического процесса, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить более стабильное качество продукции. Кроме того, достигнутое снижение рисков аварийных ситуаций и повышение энергоэффективности в рамках водооборотного узла способствует общему улучшению экологических и экономических показателей производства.

Список литературы

1. Хисматуллин, А.С. Система управления водогрейным котлом с использованием нечеткой логики / А.С. Хисматуллин, Р.Ш. Ишмуратов, А.М. Хафизов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 77–82.
2. Повышение эффективности охлаждения маслонеполненных трансформаторов / А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Е.Г. Солдатова, Е.Ю. Мавлекаев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.
3. Баширов, М.Г. Интеллектуальная система экомониторинга для выбора участка застройки жилых домов с применением оконных сеток-фильтров на основе нановолокна / М.Г. Баширов, Р.Г. Вильданов, А.М. Хафизов, А.С. Хисматуллин, Д.Ш. Акчуринов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15. – № 6. – С. 552–558.
4. Моделирование бурения скважин на основе когнитивного подхода / Я.Е. Гариматов, А.С. Хисматуллин, А.М. Хафизов, Э.И. Хизбуллина // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 5(131). – С. 64–66.
5. Хисматуллин, А.С. Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения / А.С. Хисматуллин, М.Р. Сураков, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 24–30.
6. Повышение эффективности охлаждения маслонеполненных трансформаторов / А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Е.Г. Солдатова, Е.Ю. Мавлекаев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.
7. Гареев, И.М. Оптимальная нечеткая модель нейронных сетей / И.М. Гареев, А.С. Хисматуллин, Р.У. Галлямов // Перспективы науки. – 2018. – № 1(100). – С. 17–20.
8. Khismatullin, A.S. Automated software to determine thermal diffusivity of oilgas mixture / A.S. Khismatullin // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk. Vol. 1015, 5. – Tomsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 052013.
9. Колесниченко, Д.Б. Исследование дефектов в частотно-регулируемом электроприводе и изучение их влияния на спектры токов / Д.Б. Колесниченко, А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 26–31.
10. Филиппов, А.И. Фильтрационно-волновой нагрев нефтяного пласта / А.И. Филиппов, П.Н. Михайлов, А.С. Хисматуллин // Инженерная физика. – 2006. – № 5. – С. 13–21.
11. Khismatullin, A.S. Method for increasing oil resources transformers with longterm operation / A.S. Khismatullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022058.
12. Коржов, А.В. Оценка эффективности средств защиты от перенапряжений в кабельной распределительной сети 10 кВ / А.В. Коржов, В.И. Сафонов, Р.М. Бабаев, Я.Е. Коростелев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24. – № 2. – С. 18–26.
13. Прогнозирование распределения повреждений силовых трансформаторов / А.А. Оснач, А.А. Нургалеев, Д.А. Сидоров, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 59–61.
14. Боев, М.В. Эффективная система охлаждения трансформаторов / М.В. Боев, С.А. Мирзоев, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 122–124.

References

1. Khismatullin, A.S. Sistema upravleniya vodogreynym kotlom s ispol'zovaniyem nechetkoy logiki / A.S. Khismatullin, R.SH. Ishmuratov, A.M. Khafizov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2022. – № 2. – S. 77–82.
2. Povysheniye effektivnosti okhlazhdeniya maslonapolnennykh transformatorov / A.S. Khismatullin, M.G. Bashirov, E.G. Soldatova, E.YU. Mavlekayev // Nauchno-tekhnicheskiye

vestniki SPbPU. Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. – 2018. – T. 24. – № 1. – S. 38–49.

3. Bashirov, M.G. Intellektual'naya sistema ekomonitoringa dlya vybora ploshchadki stroitel'stva zhilykh domov s primeneniym okonnykh setok-fil'trov na osnove nanovolokon / M.G. Bashirov, R.G. Vil'danov, A.M. Khafizov, A.S. Khismatullin, D.SH. Akchurin // Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal. – 2023. – T. 15. – № 6. – S. 552–558.

4. Modelirovaniye bureniya skvazhin na osnove kognitivnogo podkhoda / YA.E. Garimadov, A.S. Khismatullin, A.M. Khafizov, E.I. Khizbullina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 5(131). – S. 64–66.

5. Khismatullin, A.S. Issledovaniye vliyaniya transformatorov na kachestvo elektricheskoy energii v sisteme elektrosnabzheniya / A.S. Khismatullin, M.R. Surakov, E.M. Bashirov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2020. – № 2. – S. 24–30.

6. Povysheniye effektivnosti okhlazhdeniya maslonapolnennykh transformatorov / A.S. Khismatullin, M.G. Bashirov, E.G. Soldatova, E.YU. Mavlekayev // Nauchno-tekhnicheskiye vestniki SPbPU. Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. – 2018. – T. 24. – № 1. – S. 38–49.

7. Gareyev, I.M. Optimal'naya nechetkaya model' neyronnykh setey / I.M. Gareyev, A.S. Khismatullin, R.U. Galyamov // Perspektivy nauki. – 2018. – № 1(100). – S. 17–20.

9. Kolesnichenko, D.B. Issledovaniye defektov chastotno-reguliruyemogo elektroprivoda i izucheniye ikh vliyaniya na spektry toka / D.B. Kolesnichenko, A.S. Khismatullin, E.M. Bashirov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2021. – № 5. – S. 26–31.

10. Filippov, A.I. Fil'tratsionno-volnovoy nagrev neftyanogo plasta / A.I. Filippov, P.N. Mikhaylov, A.S. Khismatullin // Inzhenernaya fizika. – 2006. – № 5. – S. 13–21.

12. Korzhov, A.V. Otsenka effektivnosti ustroystv zashchity ot perenapryazheniy v raspredelitel'noy kabel'noy seti 10 kV / A.V. Korzhov, V.I. Safonov, R.M. Babayev, Y.Ye. Korostelev // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – 2024. – T. 24. – № 2. – S. 18–26.

13. Prognozirovaniye raspredeleniya povrezhdeniy silovykh transformatorov / A.A. Osnach, A.A. Nurgaleyev, D.A. Sidorov, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 59–61.

14. Boyev, M.V. Effektivnaya sistema okhlazhdeniya transformatorov / M.V. Boyev, S.A. Mirzoyev, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 122–124.

© Д.А. Горшков, А.М. Хафизов, А.С. Хисматуллин, 2025

УДК 621.6

*М.А. ДЖАЛИЛОВ, А.М. ХАФИЗОВ, А.С. ХИСМАТУЛЛИН**Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават*

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Ключевые слова: автоматизированная система; технологический процесс; управление; установки гранулирования пластиков.

Аннотация. Актуальность темы: необходимость повышения эффективности производства пластиков, улучшение качества гранул, снижение энергозатрат.

Цель работы – разработка и совершенствование автоматизированной системы управления технологическим процессом на установке гранулирования пластиков.

Задачи:

- анализ существующей системы;
- выявление недостатков;
- предложение мероприятий по модернизации;
- разработка или улучшение алгоритма управления.

Гипотеза: если внедрить усовершенствованную автоматизированную систему управления, основанную на адаптивном ПИД-регулировании, интеллектуальной обработке данных от датчиков, предиктивной диагностике, то это приведет к повышению стабильности технологического процесса, снижению потерь сырья, улучшению качества готовой продукции и уменьшению энергозатрат при гранулировании пластиков.

Достигнутые результаты: проведен анализ существующей автоматизированной системы управления установки гранулирования пластиков, выявлены ее ключевые недостатки (низкая точность регулирования температурных режимов, отсутствие адаптации под колебания характеристик сырья, ручная коррекция параметров оператором). Предложено внедрить адаптивные ПИД-регуляторы температуры и давления, модифицировать алгоритм управления с учетом переходных процессов с применением

SCADA-систем.

Введение

Современное производство стремительно развивается в сторону автоматизации, особенно в сферах, связанных с переработкой полимеров. Одним из важнейших этапов переработки является гранулирование пластиков, обеспечивающее получение полуфабрикатов с заданными характеристиками для последующего использования в производстве изделий.

От стабильности и точности управления процессом гранулирования зависят качество конечной продукции, экономичность процесса и уровень отходов. Однако в большинстве случаев существующие автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) таких установок обладают рядом недостатков: недостаточная адаптивность к изменениям сырья и условий, устаревшее оборудование, ограниченные возможности мониторинга и диагностики [1–4].

В условиях конкуренции и роста требований к энергоэффективности производства совершенствование АСУ ТП установки гранулирования становится важным направлением повышения производственной эффективности.

Описание технологического процесса

Процесс гранулирования пластиков включает в себя несколько основных стадий:

- подготовка и подача сырья;
- плавление и гомогенизация материала в экструдере;
- формование и резка расплава в гранулы;
- охлаждение, сушка и транспортировка

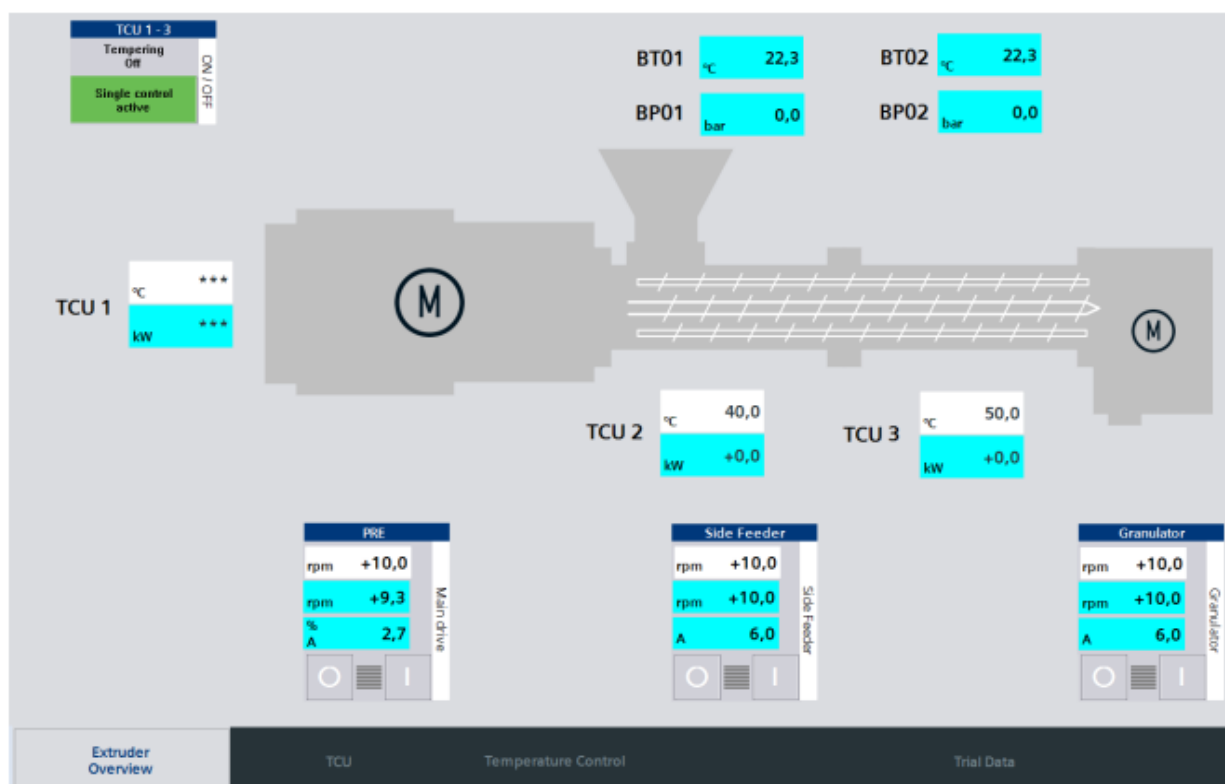


Рис. 1. Общая панель управления

готовой продукции.

Для каждой стадии требуются точные параметры управления: температура, давление, скорость вращения шнека, расход охлаждающей воды и скорость подачи.

При разработке АСУ ТП необходимо поддерживать технологические параметры в оптимальных диапазонах, учитывать устойчивость системы к возмущающим воздействиям (изменение свойств сырья, перепады температуры окружающей среды и др.). Также в АСУ ТП нужно учитывать возможность оперативного вмешательства оператора, процесс архивации и визуализации данных, диагностику неисправностей и аварийную защиту.

Структура и архитектура АСУ ТП

Уровневая структура системы выглядит следующим образом.

Полевой уровень – датчики температуры, давления, влажности, частотные преобразователи, исполнительные механизмы (насосы, приводы).

Уровень управления – программируемый

логический контроллер (ПЛК), обрабатывающий сигналы и управляющий исполнительными устройствами.

Уровень визуализации и диспетчеризации – SCADA-система и HMI-панель оператора.

Состав оборудования:

- контроллер: ОВЕН ПЛК;
- датчики: термопары, тензодатчики, расходомеры, энкодеры;
- приводы: частотно-регулируемые электродвигатели (*Danfoss*);
- интерфейс: сенсорная HMI-панель.

Механизм работы автоматизированной системы управления технологическим процессом установки гранулирования пластиков

В программе «*Temperature Control*» (рис. 2) выставляются необходимые значения температуры для переработки композиции. Нажимаем на кнопку «Пуск» на всех трех зонах, чтобы начался нагрев.

При этом необходимо периодически контролировать значения температур системы

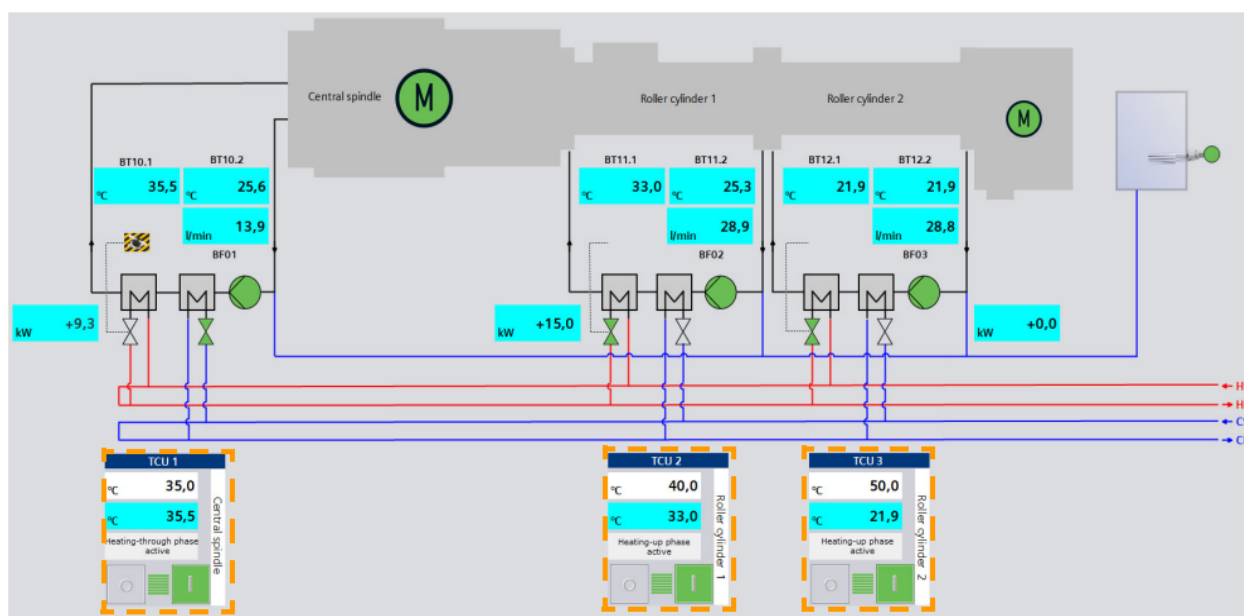


Рис. 2. Окно контроля и регулирования температуры

охлаждения и нагрева (для системы охлаждения $T_{\text{воды}} = 10\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$, для системы нагрева $T_{\text{масла}} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для получения гранул необходимо подсоединить радиальный гранулятор к фильере экструдера, закрепив его блокирующим механизмом. Чтобы включить гранулятор, нужно зайти в «System Login», ввести логин и пароль, затем зайти в настройки экструдера и нажать галочку в графе «Радиальный гранулятор», при этом на экране появится панель управления скоростью вращения режущих ножей гранулятора, ее нужно включить до загорания индикатора «Пуск».

После того как температура во всех зонах экструдера поднялась до установленных значений, можно засыпать сухую композицию в загрузочный бункер с магнитом для предотвращения возможного попадания металлических предметов вовнутрь экструдера.

Разработка алгоритмов автоматизированной системы управления технологическим процессом установки гранулирования пластикатов

Для температурного регулирования используем ПИД-регулирование с автонастройкой на основе модели первого порядка с запаздыванием. Алгоритм адаптируется под изменение характеристик расплава.

Управление скоростью подачи и шнека осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ), регулируемого по уставке производительности. Синхронизация подачи и температуры предотвращает перегрев или недогрев материала.

На финальном этапе данные от датчика влажности сравниваются с допустимым значением: таким образом осуществляется контроль влажности готовой продукции. При отклонении система корректирует температуру и скорость охлаждения.

Также созданной нами АСУ ТП производится прогноз отказов на основе анализа отклонений сигналов и статистики (вибрация, ток, температура обмоток двигателей).

Разработка программного обеспечения проведена в среде ОВЕН ППР и SCADA TRACE MODE. Созданы пользовательские интерфейсы для ввода уставок, отображения аварий и графиков.

В систему заложены механизмы аварийной остановки, блокировки по превышению пределов параметров, резервные алгоритмы управления и защита оборудования от перегрева и перегрузки.

Заключение

В работе рассмотрена и реализована задача

повышения эффективности работы установки гранулирования пластиков за счет совершенствования автоматизированной системы управления технологическим процессом.

На основе анализа существующего технологического процесса и действующей системы управления выявлены ее основные недостатки: ограниченная точность регулирования температурных режимов, отсутствие адаптивности к изменениям характеристик сырья, а также недостаточный уровень визуализации и диагностики.

С целью устранения указанных проблем была разработана усовершенствованная архитектура АСУ ТП, включающая применение адаптивного ПИД-управления. Разработан интерфейс оператора в SCADA-системы для удобного контроля и управления процессом.

Проведенное моделирование работы системы в условиях реальных технологических отклонений показало улучшение параметров стабильности процесса, повышение качества готовой продукции и снижение энергопотребления.

Таким образом, поставленная цель достигнута, а гипотеза о том, что совершенствование АСУ ТП позволяет повысить эффективность и стабильность процесса гранулирования пластиков, подтверждена.

Разработанная система может быть внедрена на аналогичных производственных участках и адаптирована под другие процессы переработки полимеров, что открывает перспективы для дальнейших исследований и внедрения цифровых технологий в химической и перерабатывающей промышленности [5–12].

Список литературы

1. Определение коэффициента трансцилляторного переноса при барботаже в жидкости / А.И. Филиппов, М.Р. Минлибаев, А.С. Хисматуллин, Н.П. Серебренников // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 118–120.
2. Хисматуллин, А.С. Повышение эффективности электрохимической защиты / А.С. Хисматуллин, Т.Г. Загитов, Г.С. Прокоп // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2021. – № 2. – С. 127–139.
3. Хисматуллин, А.С. Разработка вариантов мнемосхем объектов электросетевого хозяйства / А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова, И.А. Воронов // Международный технический журнал. – 2024. – № 4(91). – С. 45–52.
4. Моделирование бурения скважин на основе когнитивного подхода / Я.Е. Гаримадов, А.С. Хисматуллин, А.М. Хафизов, Э.И. Хизбуллина // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 5(131). – С. 64–66.
5. Хисматуллин, А.С. Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения / А.С. Хисматуллин, М.Р. Сураков, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 24–30.
6. Повышение эффективности охлаждения маслонаполненных трансформаторов / А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Е.Г. Солдатов, Е.Ю. Мавлекаев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.
7. Vasilev, I. The theory of fuzzy sets as a means of assessing the periods of service of asynchronous electric motors / I. Vasilev, A. Hismatullin // Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, 2020. – P. 9111887.
8. Khismatullin, AS. Automated software to determine thermal diffusivity of oilgas mixture / A.S. Khismatullin // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk. Vol. 1015, 5. – Tomsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 052013.
9. Колесниченко, Д.Б. Исследование дефектов в частотно-регулируемом электроприводе и изучение их влияния на спектры токов / Д.Б. Колесниченко, А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 26–31.
10. Хисматуллин, А.С. Система управления водогрейным котлом с использованием нечеткой логики / А.С. Хисматуллин, Р.Ш. Ишмуратов, А.М. Хафизов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 77–82.
11. Khismatullin, A.S. Method for increasing oil resources transformers with longterm operation /

A.S. Khismatullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk. Vol. 327. – Tomsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022058.

12. Прогнозирование распределения повреждений силовых трансформаторов / А.А. Оснач, А.А. Нургалеев, Д.А. Сидоров, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 59–61.

References

1. Opredelenie koeffitsienta transtillyatornogo perenosa pri barbotazhe v zhidkosti / A.I. Filippov, M.R. Minlibaev, A.S. Khismatullin, N.P. Serebrennikov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2010. – T. 6. – № 4. – S. 118–120.

2. Khismatullin, A.S. Povishenie effektivnosti elektrohimicheskoy zashchity / A.S. Khismatullin, T.G. Zagitov, G.S. Prokop // Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftedazovoe delo. – 2021. – № 2. – S. 127–139.

3. Khismatullin, A.S. Razrabotka variantov nemoskhem ob'ektov elektrosetevogo khozyaystva / A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova, I.A. Voronov // Mezhdunarodnyy tekhnicheskyy zhurnal. – 2024. – № 4(91). – S. 45–52.

4. Modelirovanie bureniya skvazhin na osnove kognitivnogo podkhoda / Ya.E. Garimadov, A.S. Khismatullin, A.M. Khafizov, E.I. Khizbullina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 5(131). – S. 64–66.

5. Khismatullin, A.S. Issledovanie vliyaniya transformatorov na kachestvo elektricheskoy energii v sisteme elektrosnabzheniya / A.S. Khismatullin, M.R. Surakov, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2020. – № 2. – S. 24–30.

6. Povishenie effektivnosti okhlazhdeniya maslonapolnennykh transformatorov / A.S. Khismatullin, M.G. Bashirov, E.G. Soldatova, E.Yu. Mavlekaev // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Estestvennye i inzhenernye nauki. – 2018. – T. 24. – № 1. – S. 38–49.

9. Kolesnichenko, D.B. Issledovanie defektov v chastotno-reguliruemom elektroprivode i izuchenie ikh vliyaniya na spektry tokov / D.B. Kolesnichenko, A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2021. – № 5. – S. 26–31.

10. Khismatullin, A.S. Sistema upravleniya vodogreynym kotlom s ispol'zovaniem nechetkoy logiki / A.S. Khismatullin, R.Sh. Ishmuratov, A.M. Khafizov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2022. – № 2. – S. 77–82.

12. Prognozirovaniye raspredeleniya povrezhdeniy silovykh transformatorov / A.A. Osnach, A.A. Nurgaleev, D.A. Sidorov, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 59–61.

© М.А. Джалилов, А.М. Хафизов, А.С. Хисматуллин, 2025

УДК 004.946

А.Р. ИБРАГИМОВ, М.Г. БАШИРОВ, О.Г. ВОЛКОВА

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ НАВЫКАМ: НА ПРИМЕРЕ ПРОВЕРКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: виртуальная реальность (*VR*); датчик переменного перепада давления (*ППД*); нефтяная отрасль.

Аннотация. Цель исследования заключается в разработке методологии создания *VR*-тренажера для обучения студентов техническим навыкам на примере проверки и обслуживания датчика переменного перепада давления. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведение анализа существующих технологий разработки виртуальных тренажеров;
- выбор оптимальной среды разработки;
- проектирование пользовательского сценария взаимодействия;
- создание трехмерных моделей оборудования;
- реализация алгоритмов функционирования системы.

В основу исследования положена гипотеза о том, что использование *VR*-тренажеров обеспечивает эффективное освоение практических навыков работы с высокотехнологичным оборудованием при минимальных затратах и рисках.

Методы исследования включали анализ научной литературы, моделирование процессов, текстурирование 3D-объектов, программирование логики работы тренажера и многоэтапное тестирование.

В результате был создан *VR*-тренажер, обеспечивающий погружение обучаемых в реалистичную среду для отработки навыков ремонта и обслуживания датчиков переменного перепада давления. Тренажер успешно прошел тестирование и подтвердил свою эффективность

в подготовке специалистов для нефтегазовой отрасли.

Введение

В современном мире, где нефтяная отрасль стремительно развивается, возрастает необходимость внедрения инновационных технологий для повышения эффективности производства, снижения затрат и обеспечения безопасности операций [1]. Примерами различных современных технологий являются искусственный интеллект (*ИИ*), машинное обучение и быстро развивающиеся цифровые технологии, которые охватывают весь производственный цикл.

Среди перспективных направлений цифровизации особое место занимает виртуальная реальность (*VR*). Эта технология открывает новые горизонты в решении задач, связанных с проектированием, обучением персонала, мониторингом сложных процессов и обеспечением надежности инфраструктуры [2]. Например, виртуальная реальность может значительно упростить сбор, анализ и визуализацию данных, что особенно важно в условиях, где объемы информации достигают огромных масштабов. Кроме того, виртуальная реальность активно внедряется в образовательные процессы, особенно в технических дисциплинах, где требуется освоение сложных практических навыков [3]. Одним из актуальных направлений является разработка виртуальных тренажеров для обучения работе с высокотехнологичным оборудованием.

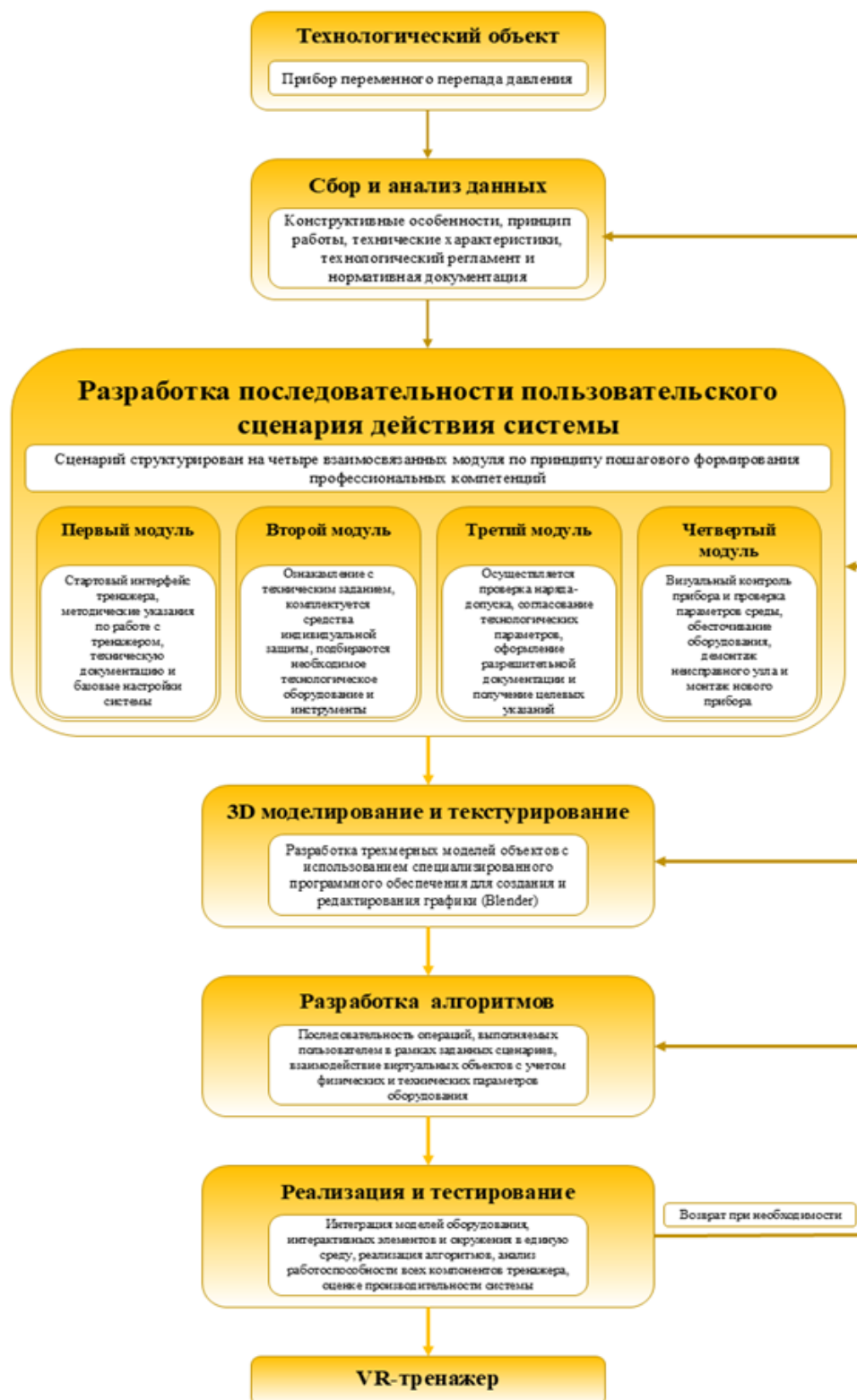


Рис. 1. Структура разработки тренажера виртуальной реальности

В данной статье рассматривается методология создания VR-тренажера для обучения

УДК 004.584

В.В. ТОЛЧЕВ, И.В. АХМЕТОВ

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ НЕФТИ: ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ

Ключевые слова: автоматизация; информационно-аналитическая система; очистка нефти; система управления базами данных (СУБД); эффективность; *Excel*; *C#*.

Аннотация. Цель исследования: разработать и оценить эффективность информационно-аналитической системы (ИАС) для автоматизации расчета показателей очистки нефти.

Задачи:

- проанализировать существующие методики оценки эффективности очистки нефти;
- выявить проблемы ручного расчета и обработки данных;
- разработать ИАС с функционалом автоматизированного расчета и визуализации результатов.

Гипотеза: внедрение ИАС сократит время расчета и повысит точность оценки эффективности очистки нефти.

Методы:

- использование системы управления базами данных (СУБД) для хранения и обработки данных;
- программная реализация на *C#* с интеграцией *Excel* для импорта/экспорта данных.

Результаты:

- создание ИАС, автоматизирующая расчет времени отстоя, процента остаточной воды и оценки удовлетворительности очистки;
- снижение времени обработки данных с 30 минут до 2–3 секунд;
- устранение ошибок, связанных с человеческим фактором.

Очистка нефти – критически важный этап в нефтедобыче, влияющий на качество конечного продукта. Традиционные методы оценки эффективности очистки требуют ручного сбора

и обработки данных с оборудования (сепараторов, отстойников, деэмульгаторов), что приводит к значительным временным затратам и ошибкам.

Компания ПАО АНК «БАШНЕФТЬ» [3] сталкивается с проблемами:

- неавтоматизированный сбор данных – информация поступает в разрозненных форматах;
- ручные расчеты – аналитики используют *Excel*, что увеличивает риск ошибок;
- отсутствие единой базы данных – усложняет анализ исторических показателей.

Для решения этих проблем предложена ИАС, автоматизирующая:

- загрузку данных с оборудования и из *Excel*;
- расчет ключевых показателей (время отстоя, остаточная вода);
- визуализацию результатов для принятия решений.

Оценка эффективности очистки нефти

Общая характеристика процесса очистки нефти, которая включает этапы: грубой очистки (сепарация газа и воды), тонкой очистки (деэмульгация), контроль качества (анализ содержания воды и примесей) [1].

Используется оборудование: нефтегазовые сепараторы (рис. 1), отстойники (рис. 2), деэмульгаторы.

Показатели эффективности следующие.

1. Содержание воды после отстоя (AT_1 , AT_2 , AT_3).
2. Время отстоя (EX).
3. Оптимальный расход (OMI , OMA).

Анализ методики расчета, используются следующие формулы [4]

1. Коэффициента заполнения:

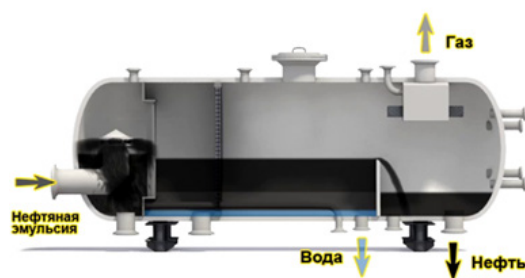


Рис. 1. Нефтегазовый сепаратор и принцип работы



Рис. 2. Отстойник нефти

$$KZ = \frac{N}{3400}.$$

2. Оптимальный расход:

$$OMI = \frac{200 \times 1440 \cdot KZ}{120},$$

$$OMA = \frac{200 \times 1440 \cdot KZ}{45}.$$

3. Процент остаточной воды (для температур 10 °С, 20 °С, 30 °С):

$$AT1 = 17 - \frac{7 \times (EX - 30)}{30},$$

если $30 < EX < 60$.

Проведенный анализ существующей системы оценки эффективности очистки нефти выявил ряд существенных недостатков. Основные проблемы заключаются в необходимости ручного ввода данных, что неизбежно приводит

к ошибкам, использованию разрозненных форматов хранения информации и значительным временным затратам на подготовку отчетов – до 30 минут на каждый.

Для устранения этих недостатков была поставлена задача разработки специализированной информационно-аналитической системы. Новая система должна обеспечивать автоматический расчет всех ключевых показателей (включая KZ , OMI , OMA , EX , $AT1$ – $AT3$), поддерживать импорт и экспорт данных в *Excel*, а также предоставлять удобные средства визуализации результатов через графический интерфейс.

В процессе проектирования проведен детальный анализ существующего рабочего процесса (*AS-IS* модель), который включает три последовательных этапа: ручной сбор данных с оборудования, их обработку в *Excel* и последующее формирование отчетов. Такой подход характеризуется не только высокой трудоемкостью, но и значительным риском возникновения ошибок.

Разработанная *TO-BE* модель предполагает кардинальное преобразование этого процесса.

В новой системе реализована автоматическая загрузка данных из различных источников, их централизованная обработка и наглядное представление результатов. Это позволяет полностью исключить ручные операции и существенно повысить достоверность расчетов.

К системе предъявлены следующие ключевые требования:

- поддержка современных СУБД (*MySQL*, *PostgreSQL*);
- интеграция с *Excel* через библиотеку *EPPlus* [2];
- разработка интерфейса на платформе *WPF* [5] с языком *C#*.

Архитектурное решение построено по трехуровневой схеме:

- уровень данных (СУБД и *Excel*-файлы);
- уровень бизнес-логики (модуль расчетов);
- презентационный уровень (графический интерфейс).

Техническая реализация системы выполнена на языке *C#* с использованием платформы *.NET Framework*. Для работы с данными применены специализированные библиотеки: *EPPlus* (для обработки *Excel*-файлов) [2] и *Entity Framework* (для взаимодействия с СУБД). Особое внимание уделено разработке интуитивно

понятного пользовательского интерфейса, максимально упрощающего работу операторов.

Результаты тестирования показали впечатляющие результаты:

- время выполнения расчетов сокращено с 30 минут до трех секунд;
- полностью устранены ошибки округления и арифметические погрешности;
- автоматизировано 90 % расчетных операций;
- трудозатраты аналитического отдела снижены на 70 %.

Система успешно внедрена на предприятии ПАО АНК «БАШНЕФТЬ» [3], где подтвердила свою эффективность в реальных производственных условиях. Персонал предприятия отметил значительное повышение удобства работы и снижение количества ошибок в отчетной документации.

Разработанное решение открывает новые перспективы для оптимизации процессов нефтепереработки и может быть адаптировано для использования на других предприятиях отрасли. Его внедрение позволяет не только повысить точность и скорость расчетов, но и высвободить значительные трудовые ресурсы для решения более сложных аналитических задач [6].

Список литературы

1. ГОСТ, Р.51858-2002 Нефть. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/3207>.
2. Microsoft Docs. Библиотека *EPPlus* для работы с *Excel* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://epplussoftware.com/ru>.
3. Официальный сайт предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bashneft.ru>.
4. Смит, Дж. Современные методы очистки нефти / Дж. Смит // Нефтегазовое дело. – 2020. – № 3. – С. 45–52.
5. Нигматуллин, Ф.Р. Исследование применения чат-ботов и технологии машинного зрения в оптимизации складских операций / Ф.Р. Нигматуллин, И.В. Ахметов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – С. 85–88.
6. Ахметов, И.В. Применение автоматизации для повышения качества обслуживания / И.В. Ахметов, Я.Ю. Драншева // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – С. 80–84.

References

1. GOST, R.51858-2002 Neft'. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Electronic resource]. – Access mode : <https://internet-law.ru/gosts/gost/3207>.
2. Microsoft Docs. Biblioteka *EPPlus* dlya raboty s *Excel* [Electronic resource]. – Access mode : <https://epplussoftware.com/ru>.
3. Ofitsial'nyy sayt predpriyatiya [Electronic resource]. – Access mode : <https://bashneft.ru>.

4. Smit, Dzh. Sovremennyye metody ochistki nefi / Dzh. Smit // Neftegazovoye delo. – 2020. – № 3. – S. 45–52.
 5. Nigmatullin, F.R. Issledovaniye primeneniya chat-botov i tekhnologii mashinnogo zreniya v optimizatsii skladskikh operatsiy / F.R. Nigmatullin, I.V. Akhmetov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – S. 85–88.
 6. Akhmetov, I.V. Primeneniye avtomatizatsii dlya povysheniya kachestva obsluzhivaniya / I.V. Akhmetov, YA.YU. Dransheva // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – S. 80–84.
-

© В.В. Толчев, И.В. Ахметов, 2025

УДК 004.9

Д.К. НГУЕН¹, Ю.А. ДЫРЧЕНКОВА¹, Ю.В. САХАРОВ²¹Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова ФГБОУ ВО

«Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва;

²ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ БЕЗОПАСНОСТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Ключевые слова: безопасность; блокчейн; защита данных; кибербезопасность; метод; спутниковая связь; технологии; угрозы; уязвимости.

Аннотация. Спутниковая связь играет ключевую роль в глобальной инфраструктуре, поддерживая критически важные приложения, такие как телемедицина, финансовые операции и национальная оборона. Однако рост угроз, включая кибератаки и перехват данных, требует инновационных подходов. В данной статье представлено исследование методов безопасности спутниковой связи через интеграцию технологий блокчейн и гауссовских процессов, которые позволяют повысить безопасность спутниковой связи. В рамках исследования была поставлена задача исследовать применение гауссовского процесса для оценки эффективности блокчейн-решений. Исследование демонстрирует, как использование блокчейна обеспечивает защиту данных благодаря неизменяемости, децентрализации и прозрачности [1], а применение гауссовских процессов повышает эффективность обнаружения и предотвращения угроз. Данное исследование показывает, что интеграции блокчейн-технологий с гауссовскими процессами способна не только повысить безопасность, но и оптимизировать работу спутниковых систем связи. Эти выводы могут быть использованы для разработки новых стандартов защиты.

Введение

Современные спутниковые технологии яв-

ляются основой глобальной связи. Однако риски, связанные с безопасностью, требуют новых подходов. В данной статье рассматривается применение технологии блокчейн для защиты данных спутниковой связи.

С ускоренным прогрессом в области компьютерных технологий и систем передачи данных спутниковая связь выделилась как стратегически важная и инновационная сфера в секторе информационных технологий благодаря ее ключевым характеристикам. Эти характеристики включают в себя способность обеспечивать мобильное соединение на длинные дистанции, стоимостную эффективность при реализации массовой и широкоэвещательной трансляции, всестороннее покрытие территорий и универсальность в применении. С помощью спутниковых коммуникационных сетей становятся доступными передача и прием данных на глобальном уровне, позволяя получить доступ к интернет-ресурсам, цифровому телевидению, телефонным услугам, радио и поддерживая разнообразные гражданские и оборонительные задачи. Современные высокоэффективные спутниковые системы, известные как HTS, представили значительное расширение функционала при одновременном снижении цен на широкополосные связи [2]. Эти инновации предоставят новые возможности для повышения качества и безопасности услуг, критически важных для телемедицины, финансовых операций, миссий поиска и спасения, работы сенсорных сетей и систем доставки мультимедийного контента, ответственных за основную долю генерируемого в сети трафика [3].

Архитектура спутниковой коммуникационной сети представлена на рис. 1.

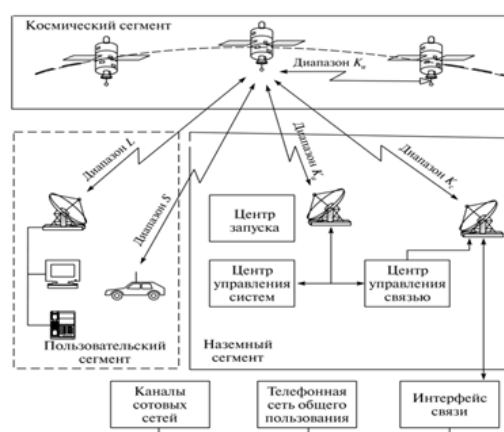


Рис. 1. Схема архитектуры спутниковой сети

Таблица 1. Стратегии защиты в системах спутниковой связи

№ п/п	Методы	Описание
1	Шифрование данных	Использование криптографических алгоритмов (например, <i>AES</i>) для защиты передаваемой информации
2	Многофакторная аутентификация	Проверка пользователя с применением нескольких уровней подтверждения доступа
3	Аудит безопасности	Регулярные проверки для выявления и устранения уязвимостей
4	Мониторинг инцидентов	Система обнаружения угроз для своевременной реакции на атаки
5	Резервное копирование	Создание копий данных для их восстановления при сбоях или атаках
6	Защита от <i>DDoS</i> -атак	Меры для предотвращения перегрузки спутниковых сетей избыточным трафиком
7	Физическая безопасность	Защита оборудования от повреждений и несанкционированного доступа

Опасности для спутникового коммуникационного оборудования

Воздействия на безопасность способны критически затронуть функционирование космических аппаратов, вызывая потерю управления, компрометацию данных и снижение надежности связи [4]. Обрыв связи ведет к значительным негативным последствиям для чрезвычайно важных задач, включая обеспечение безопасности полетов, выполнение задач глобальной навигации и эффективность миссий *SAR* (поисково-спасательных операций).

В рамках укрепления защиты каналов спутниковой связи и противодействия потен-

циальным угрозам разработчики внедряют множество мер по повышению безопасности. К таким мерам относятся криптографическое шифрование передаваемой информации, верификация участников сети, непрерывный анализ состояния сетевых подключений на предмет отклонений, обеспечение физической невосприимчивости спутников к воздействиям и интеграция технологии распределенного реестра (блокчейн) [5]. Эти стратегии призваны гарантировать сохранность и нетронутость данных, предупреждать неавторизованный доступ и гарантировать безопасное пролегание информации по спутниковым каналам. Ключевые стратегии поддержания безопасности в контексте спутниковой связи и их значимость

для уверенного и защитного обмена данными в рамках коммуникационной инфраструктуры описаны в табл. 1.

Методика приближенного определения функции передачи связи

Применение гауссовского процесса для оценивания эффективности блокчейн-инноваций способствует оптимизации функциональных возможностей сети, повышению ее производительности и гарантирует повышенную стойкость безопасности при использовании в секторе спутниковой связи [6].

Лемма утверждает, что когда мы рассматриваем коллекцию гауссовых случайных векторов $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, индексированную некоторым множеством индексов $T = (1, 2, \dots, n)$, то соответствующий ей стохастический процесс $X = \{X_T\}_{t \in T}$ образует гауссовский процесс. Это означает, что для любого выбора временных точек из индексного множества соответствующее распределение совокупности случайных величин будет многомерным нормальным. В обратной ситуации, если стохастический процесс $X = \{X_T\}_{t \in T}$ является гауссовским, это подразумевает, что любая выборка векторов $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ из процесса подчиняется свойствам гауссовских векторов, обладая многомерным нормальным распределением.

Гауссовский процесс описывается через функции математического ожидания и ковариации, применяемые к набору независимых переменных и многомерным гиперпространствам признаков. Когда задана взаимосвязь между переменными, они демонстрируют линейную корреляцию, следовательно:

$$f(x) = \varphi(x)^T w, \quad (1)$$

где $\varphi(x)$ – M -мерная базисная функция в спутниковом канале связи и $w \sim N(0, \Sigma_p)$. Средняя функция $m(x)$ и ковариационная функция $k(x, x')$ выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} m(x) &= E[f(x)] = \varphi(x)^T E[w] = 0, \\ k(x, x') &= E[(f(x) - m(x))(f(x') - m(x'))^T] = \\ &= \varphi(x)^T E[ww^T] \varphi(x') = \\ &= \varphi(x)^T \Sigma_p \varphi(x'). \end{aligned} \quad (2)$$

Оценивание параметров трансмиссионного канала

Допустим, существует n образцов $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, согласно формуле (1) результатом будет:

$$f = [b_1(i), b_2(i), \dots, b_n(i)]^T, \quad (3)$$

в котором:

$$b^{\wedge}(i) = k_*^T (K + \sigma_n^2 I_n)^{-1} y, \quad (4)$$

$$\text{и } k_* = K(X, x_*) = [k(x_1, x_*), k(x_2, x_*), \dots, k(x_n, x_*)]^T, \quad (5)$$

где x_* – гауссова функция ядра.

Следовательно, получаем:

$$k(x_i, x_j) = \theta_1^2 \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\theta_2^2}\right). \quad (6)$$

Параметры спутникового канала можно определить, используя следующую формулу:

$$b^{\wedge}(i) = \text{sgn}(k_*^T (K + \sigma_n^2 I_n)^{-1} y). \quad (7)$$

Таким образом, мы формируем уравнение, представляющее метод определения величины параметра $b(i)$ в рамках спутниковой связи. Это уравнение дает возможность аппроксимировать параметр $b(i)$, используя вектор наблюдений и дополнительные элементы, включая вектор k , матрицу K и характеристики шума σ_n^2 .

Заключение

В статье показано, что интеграция технологии блокчейн и гауссовских процессов существенно повышает безопасность спутниковой связи. Применение гауссовских процессов позволяет эффективно оценивать параметры системы. Блокчейн обеспечивает защиту данных, децентрализованный контроль доступа и защиту от несанкционированных изменений, а гауссовские процессы позволяют выявлять аномалии и предсказывать поведение системы в условиях высокой нагрузки. Применение гауссовских процессов позволяет эффективно оценивать параметры системы.

Результаты исследования демонстрируют,

что предложенный подход снижает риск кибератак, повышает надежность передачи данных и оптимизирует управление спутниковыми системами. Эти методы могут быть использованы для разработки новых стандартов безопасности спутниковой связи.

Список литературы

1. Rathore, S. BlockDeepNet: A Blockchain-Based Secure Deep Learning for IoT Network / S. Rathore, Y. Pan, J.H. Park // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – No. 14. – P. 3974.
2. Мальцев, Г.Н. Сетевые информационные технологии в современных спутниковых системах связи / Г.Н. Мальцев // Информационно-управляющие системы. – 2007. – № 1(26). – С. 33–39.
3. Лебедев, В.Н. Мероприятия по обеспечению безопасности персональных данных как элемент системы технической защиты персональных данных в органах внутренних дел / В.Н. Лебедев // Труды Академии управления МВД России. – 2015. – № 3(35). – С. 63–67.
4. Хромов, И.А. Обзор методов моделирования нательной связи / И.А. Хромов, Л.С. Восков // Инфокоммуникационные технологии. – 2022. – Т. 28. – № 11. – С. 570–579.
5. Yaga, D. et al. Blockchain technology overview // arXiv preprint arXiv:1906.11078. – 2019.
6. Verifiable Credentials Data Model v1.1 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.w3.org/TR/vc-data-model>.

References

2. Mal'tsev, G.N. Setevyye informatsionnyye tekhnologii v sovremennykh sputnikovyykh sistemakh svyazi / G.N. Mal'tsev // Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy. – 2007. – № 1(26). – S. 33–39.
3. Lebedev, V.N. Meropriyatiya po obespecheniyu bezopasnosti personal'nykh dannykh kak element sistemy tekhnicheskoy zashchity personal'nykh dannykh v organakh vnutrennikh del / V.N. Lebedev // Trudy Akademii upravleniya MVD Rossii. – 2015. – № 3(35). – S. 63–67.
4. Khromov, I.A. Obzor metodov modelirovaniya natel'noy svyazi / I.A. Khromov, L.S. Voskov // Infokommunikatsionnyye tekhnologii. – 2022. – T. 28. – № 11. – S. 570–579.

© Д.К. Нгуен, Ю.А. Дырченкова, Ю.В. Сахаров, 2025

УДК 519

О.А. ТОРШИНА, Л.В. СМЕРНОВА, К.О. СВЕТУС

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КОНСТРУКЦИОННОГО РИСК-АНАЛИЗА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОКАЛИНЫ НА НАГРЕВ ЗАГОТОВОК В ПЕЧАХ И ИХ КАЧЕСТВО

Ключевые слова: краевые задачи; математическое моделирование; нестационарные процессы; температурное поле; теория конструкционного риск-анализа; уравнение теплопроводности; численные методы.

Аннотация. Целью работы является решение задачи влияния окалины на нагрев заготовок в печах и обретаемые ими качественные характеристики, построение математической модели этого процесса. Для ее достижения поставлены задачи: изучить вопросы влияния окалины на нагрев заготовок в печах, рассмотреть математические методы решения полученной краевой задачи, построить математическую модель нагрева заготовки в печи с учетом влияния окалины. В работе использованы методы математического моделирования и теории конструкционного риск-анализа. Результаты исследования позволили выявить ключевые факторы, определяющие влияние окалины на процесс нагрева. В частности, было показано, что толщина окалины и ее теплопроводность играют ключевую роль в формировании температурного поля. Модель также подтверждает, что учет симметрии температурного поля не оказывает существенного влияния на результаты исследования.

Метод тепловых потенциалов – это математический метод, который используется для решения краевых задач с подвижными границами. В данном методе основное внимание уделяется функциям, называемым тепловыми потенциалами, которые позволяют описать распределение температуры или теплового потока в исследуемой системе.

Рассмотрим следующую краевую задачу:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = a_i^2 \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2}; \quad i = 1, 2,$$

начальные условия

$$\begin{aligned} T_1(x, 0) &= T_0(x), \quad b - \eta(t) < x \leq b, \\ T_2(x, 0) &= T_0(x), \quad 0 \leq x \leq b - \eta(t), \end{aligned}$$

граничные условия

$$\begin{aligned} T_1(b, t) &= F(t), \\ T_1(b - \eta(t), t) &= T_2(b - \eta(t), t), \\ K_1 \frac{\partial T_1(b - \eta(t), t)}{\partial x} &= K_2 \frac{\partial T_2(b - \eta(t), t)}{\partial x}, \\ \frac{\partial T_2(0, t)}{\partial x} &= 0. \end{aligned}$$

Данная краевая задача может быть решена методом тепловых потенциалов. Так как решаемая задача является смешанной задачей теплопроводности (на границах областей заданы значения функций и их производных), то решение необходимо искать в виде суммы теплового потенциала двойного слоя для той части поверхности Ляпунова, где задано значение функции, и теплового потенциала простого слоя для той части поверхности, где заданы производные неизвестных функций [5].

В силу вышесказанного решение задачи будем искать в виде:

$$T_1(x, t) =$$

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{(x-b)l^{\frac{(x-b)^2}{4a_1^2(t-\tau)}}}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \mu_1(\tau) d\tau +$$

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l^{\frac{(x-b+\eta(\tau))^2}{4a_1^2(t-\tau)}} \frac{v_1(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau +$$

$$\frac{1}{2a_1\sqrt{\pi}} \int_{b-\eta(0)}^b \frac{T_0(\xi)}{\sqrt{t}} l^{\frac{(x-\xi)^2}{4a_1^2t}} d\xi;$$

$$T_2(x, t) =$$

$$\frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l^{\frac{(x-b+\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}} \frac{v_2(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau +$$

$$+ \frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l^{\frac{x^2}{4a_2^2(t-\tau)}} \frac{\mu_2(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau +$$

$$\frac{1}{2a_2\sqrt{\pi}} \int_{b-\eta(0)}^b \frac{T_0(\xi)}{\sqrt{t}} l^{\frac{(x-\xi)^2}{4a_2^2t}} d\xi.$$

Используя свойства тепловых потенциалов [5], найдем систему уравнений для определения неизвестных функций v_1, μ_1, v_2, μ_2 :

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l^{\frac{-\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)}} \frac{v_1(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau - \mu_1(t) =$$

$$F(t) - \frac{1}{2a_1\sqrt{\pi t}} \int_{b-\eta(0)}^b T_0(\xi) l^{\frac{(x-\xi)^2}{4a_1^2t}} d\xi;$$

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l^{\frac{-\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)}} \mu_1(\tau) d\tau -$$

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{v_1(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau + \frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{v_2(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau +$$

$$+ \frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l^{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}} \frac{\mu_2(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau =$$

$$- \frac{1}{2a_2\sqrt{\pi t}} \int_0^{b-\eta(0)} T_0(\xi) l^{\frac{(b-\eta(\tau)-\xi)^2}{4a_2^2t}} d\xi;$$

$$\frac{k_1 a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \left[1 - \frac{\eta^2(\tau)}{2a_1^2(t-\tau)} \right] l^{\frac{-\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)}} *$$

$$\mu_1(\tau) d\tau + \frac{k_1}{2} v_1(t) + \frac{k_2}{2} v_2(t) +$$

$$\frac{k_2}{4a_2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{b-\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l^{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}} \mu_2(\tau) d\tau =$$

$$\frac{k_1}{4a_1^3\sqrt{\pi t^3}} \int_{b-\eta(0)}^b l^{\frac{(b-\eta(\tau)-\xi)^2}{4a_1^2t}} *$$

$$T_0(\xi)(b-\eta(\tau)-\xi) d\xi - \frac{k_2}{4a_2^3\sqrt{\pi t^3}} \int_0^{b-\eta(0)} *$$

$$T_0(\xi) l^{\frac{(b-\eta(\tau)-\xi)^2}{4a_2^2t}} (b-\eta(\tau)-\xi) d\xi;$$

$$\frac{1}{4a_2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{b-\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l^{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}} *$$

$$v_2(\tau) d\tau + \frac{\mu_2(t)}{2} =$$

$$\frac{-1}{4a_2^3\sqrt{\pi t^3}} \int_0^{b-\eta(0)} T_0(\xi) \xi l^{\frac{-\xi^2}{4a_2^2t}} d\xi.$$

Тогда система интегральных уравнений типа Вольтерра примет вид:

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l^{\frac{-\eta^2(t)}{4a_1^2(t-\tau)}} \frac{v_1(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau -$$

$$\mu_1(t) = \Phi_1(t),$$

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l^{\frac{-\eta^2(t)}{4a_1^2(t-\tau)}} \mu_1(\tau) d\tau -$$

$$\frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{v_1(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau + \frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{v_2(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau +$$

$$\frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l \frac{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}}{\sqrt{t-\tau}} \mu_2(\tau) d\tau = \Phi_2(t)$$

$$\begin{aligned} & \frac{k_1 a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \left[1 - \frac{\eta^2(\tau)}{2a_1^2(t-\tau)} \right] * \\ & l \frac{\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)} \mu_1(\tau) d\tau + \frac{k_1}{2} v_1(t) + \frac{k_2}{2} v_2(t) + \\ & \frac{k_2}{4a_2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{b-\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l \frac{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}}{*} \\ & \mu_2(\tau) d\tau = \Phi_3(t), \\ & \frac{1}{4a_2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{b-\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l \frac{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}}{v_2(\tau) d\tau} + \\ & \frac{\mu_2(t)}{2} = \Phi_4(t). \end{aligned}$$

Известно, что система интегральных уравнений типа Вольтерра II рода, если неизвестные функции непрерывны, всегда имеют единственное решение, которое может быть найдено методом последовательных приближений [3; 4].

Для определения членов фундаментальных функциональных последовательностей, предел которых есть решение системы четырех интегральных уравнений типа Вольтерра II рода, можно использовать следующие рекуррентные соотношения:

$$\begin{aligned} \mu_{1n+1} &= \Phi_1(t) - \\ & \frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l \frac{\frac{\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)}}{\sqrt{t-\tau}} v_{1n}(\tau) d\tau, \\ \mu_{2n+1} &= 2\Phi_4(t) - \\ & \frac{1}{2a_2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{b-\eta(\tau)}{(t-\tau)^{3/2}} l \frac{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}}{v_{2n}(\tau) d\tau}, \\ & \int_0^t \frac{v_{2n+1}}{\sqrt{t-\tau}} d\tau = \Psi_n(t), v_{1n+1}(t) = \end{aligned}$$

$$\frac{2}{k_1} G_n(t) - \frac{k_2}{k_1} v_{2n+1}(t),$$

$$\text{где } \Psi_n(t) = \frac{2k_1\sqrt{\pi}}{k_1a_2+k_2a_1} *$$

$$\begin{aligned} & \left\{ \Phi_2(t) - \frac{a_2}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t l \frac{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}}{\sqrt{t-\tau}} \mu_{2n}(\tau) d\tau - \right. \\ & \frac{a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l \frac{\frac{\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)}}{\mu_1(\tau) d\tau} - \\ & \frac{a_1}{k_1\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{G_n(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau; G_n(t) = \\ & \Phi_3(t) - \frac{k_1 a_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \left[1 - \frac{\eta^2(\tau)}{2a_1^2(t-\tau)} \right] * \\ & l \frac{\eta^2(\tau)}{4a_1^2(t-\tau)} \mu_1(\tau) d\tau - \\ & \left. \frac{k_2}{4a_2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{b-\eta(\tau)}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} l \frac{\frac{(b-\eta(\tau))^2}{4a_2^2(t-\tau)}}{\mu_{2n}(\tau) d\tau} \right\} \end{aligned}$$

Выражение является интегральным уравнением Абеля, решение которого имеет вид [1; 2]:

$$v_{2n+1}(t) = \frac{1}{\pi} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{\Psi_n(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau.$$

Таким образом, с использованием рекуррентных соотношений определяется решение поставленной задачи. Применяя полученную модель, можно вычислить температурные поля и количественно оценить воздействие окалины на процесс нагрева заготовки в печах.

Используемый метод тепловых потенциалов также позволяет решать задачи с нелинейными граничными условиями. Также модель может быть использована для оптимизации режимов нагрева, минимизации влияния окалины и повышения эффективности технологических процессов.

Список литературы

1. Алгазин, С.Д. Численные алгоритмы без насыщения в классических задачах математической физики / С.Д. Алгазин. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : АИСиТ, 2016. – 390 с.
2. Виноградов, А.Ю. Численные методы решения жестких и нежестких краевых задач : монография / А.Ю. Виноградов. – Москва: National Research ; Межотраслевой научно-исследовательский институт институционального консалтинга, 2017. – 109 с.
3. Луценко, А.Н. Применение показателя соответствия профиля при управлении качеством продукции сортовых станов / А.Н. Луценко, В.А. Монид, О.Н. Тулупов [и др.] // Труды VII Конгресса прокатчиков, Москва, 15–18 октября 2007 года. Том 1. – Москва, 2007. – С. 221–228.
4. Моллер, А.Б. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах / А.Б. Моллер, О.Н. Тулупов, А.С. Лимарев, Д.В. Назаров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 1(17). – С. 64–67.
5. Торшина, О.А. Нейросетевое решение задач категоризации / О.А. Торшина, Д.М. Долгушин, Н.А. Плугина, К.О. Светус // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 3(153). – С. 30–33.

References

1. Algazin, S.D. Chislennyye algoritmy bez насыshcheniya v klassicheskikh zadachakh matematicheskoy fiziki / S.D. Algazin. – 3-ye izd., ispr. i dop. – M. : AISnT, 2016. – 390 s.
2. Vinogradov, A.YU. Chislennyye metody resheniya zhestkikh i nezhestkikh krayevykh zadach : monografiya / A.YU. Vinogradov. – Moskva: National Research ; Mezhotraslevoy nauchno-issledovatel'skiy institut institutsial'nogo konsaltinga, 2017. – 109 s.
3. Lutsenko, A.N. Primeneniye pokazatelya sootvetstviya profilya pri upravlenii kachestvom produktsii sortovykh stanov / A.N. Lutsenko, V.A. Monid, O.N. Tulupov [i dr.] // Trudy VII Kongressa prokatchikov, Moskva, 15–18 oktyabrya 2007 goda. Tom 1. – Moskva, 2007. – S. 221–228.
4. Moller, A.B. Kontseptsiya postroyeniya sovremennykh modeley prokatki na sortovykh stanakh / A.B. Moller, O.N. Tulupov, A.S. Limarev, D.V. Nazarov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2007. – № 1(17). – S. 64–67.
5. Torshina, O.A. Neyrosetevoye resheniye zadach kategorizatsii / O.A. Torshina, D.M. Dolgushin, N.A. Plugina, K.O. Svetus // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 3(153). – S. 30–33.

© О.А. Торшина, Л.В. Смирнова, К.О. Светус, 2025

УДК 621.6

А.С. ХИСМАТУЛЛИН, Е.Я. КАЮМОВ, И.А. ЧУРБАНОВ, Н.С. ФЕДЬКО

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫМ УЗЛОМ СИСТЕМЫ РОЗЖИГА ПЕЧИ

Ключевые слова: автоматизация; датчик; модернизация; передаточная функция; система розжига.

Аннотация. В настоящее время пароперегреватели критически важны в нефтехимической промышленности и в целом в промышленности, значительно повышая эффективность и экономичность энергоемких технологических процессов. Они увеличивают температуру насыщенного пара, что позволяет снизить затраты, повысить производительность и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Перегретый пар, получаемый в пароперегревателях, часто используется для таких процессов нефтехимии, как пиролиз. Также пар используют и в установках компрессии.

Цель статьи заключается в исследовании и разработке модернизированной системы автоматического регулирования температуры оборотной воды водооборотного узла, минимизирующей присутствие человеческого фактора в процессе регулирования температуры. Актуальность работы заключается в анализе существующей системы регулирования, выявлении ее недостатков, предложена модернизированная система с определением ее требований и преимуществ. Также будет проведена оценка эффективности и обоснованности применения предложенной системы, продиктованная возрастающими требованиями к надежности и бесперебойности электроснабжения, особенно в условиях эксплуатации, где необходимо уделять особое внимание обеспечению стабильной работы.

Гипотеза: при повышении температуры сильно выше нормы срабатывают отсекатели, перекрывая ход газового топлива, что приводит к сбросу топлива в атмосферу. Трубопровод,

предназначенный для сброса газа, открывается с помощью вентиля вручную. Регулирование температуры происходит без коррекции по температуре.

В работе предлагаем автоматизировать имеющуюся систему. Рекомендуется заменить запорную арматуру на трубопроводе топливного газа, установить датчик расхода. На трубопроводе выхода пара установить датчик температуры для корректировки расхода топливного газа. Также предлагается установить автоматическую задвижку на трубопровод, предназначенный для сброса газа в атмосферу.

Методы исследования: изучение литературных источников, сравнение, анализ данных, сценарный анализ в целях потенциальных вариантов развития.

Достигнутые результаты: в статье обоснованы необходимость использования и последующее применение системы автоматического управления комплекса оборотного водоснабжения. В результате поиска коэффициентов было установлено, что наилучшее регулирование обеспечивают коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющей соответственно: $K_0 = 0,22$; $K_1 = 0,51$.

Введение

Одной из наиболее перспективных областей применения автоматических систем управления (АСУ) в промышленности является ее применение в системах получения перегретого пара [1–9]. Современное производство характеризуется ростом объемов и использованием передовых технологий, что делает внедрение АСУ необходимым условием. АСУ

обеспечивают безопасность технологических процессов, минимизируют влияние человеческого фактора.

Постановка задачи

Пароперегревательная печь используется для перегрева насыщенного пара высокого давления, поступающего с печей пиролиза типа *SRT-I*, до температуры 500–530 °С с последующей подачей его на паровые турбины компрессоров: пирогазовый, пропиленовый и насос, подающий питательную воду в барабаны, закально-испарительные аппараты (ЗИА) печей пиролиза. При повышении температуры сильно выше нормы срабатывают отсекатели, перекрывая ход газового топлива, что приводит к сбросу топлива в атмосферу, поэтому необходимо ее автоматизировать.

Расчетно-графическая часть

В данной работе осуществляется модернизация системы автоматического розжига горелок печи, которая расширяется до каскадной автоматической системы регулирования (АСР) с корректировкой по температуре. Трубопровод, предназначенный для сброса газа, открывается с помощью вентиля вручную. Регулирование температуры происходит без коррекции по температуре.

Недостатки текущей системы автоматизации: ненадежное управление, присутствие человеческого фактора, морально устаревшее оборудование.

Предлагается заменить запорную арматуру на трубопроводе топливного газа, установить датчик расхода. На трубопроводе выхода пара установить датчик температуры для корректировки расхода топливного газа. Также предлагается установить автоматическую задвижку на трубопровод, предназначенный для сброса газа в атмосферу. Для этого необходимо установить

датчик температуры на трубопроводе выхода пара из печи, подобрать регулятор и внедрить в существующий контур при условии, что датчик давления на трубопроводе газа заменяется на датчик расхода.

Каскадная система автоматического управления (САУ) состоит из нескольких контуров регулирования, каждый из которых регулирует свою технологическую (основную или вспомогательную) величину.

Важным условием в каскадных АСР является то, что стабилизирующий контур должен обладать временем регулирования, минимально в пять раз меньшим, чем время регулирования по каналу корректировки. А запаздывание должно различаться минимум в 7–10 раз.

В результате поиска коэффициентов было установлено, что наилучшее регулирование обеспечивают коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющей соответственно: $K_0 = 0,22$; $K_1 = 0,51$.

Показатели качества регулирования: время регулирования – 4 мин., степень затухания – 0,998, перерегулирование – 0,2776.

Заключение

Смоделированная автоматизированная система регулирования позволяет продлить срок службы системы оборотного водоснабжения производства этилена и пропилена [10–14]. Рассчитано, что при использовании ПИД-регулятора система неустойчива, так как степень полинома знаменателя равна двум, а годограф огибает три квадранта. В таком случае попытаемся найти коэффициенты ПИ-регулятора методом перебора. В результате поиска коэффициентов было установлено, что наилучшее регулирование обеспечивают коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющей соответственно: $K_0 = 0,22$; $K_1 = 0,51$.

Список литературы

1. Девяткин, Е.М. Интеллектуальная система диагностики карстовых пустот, ограниченных слоями с нанотехнологическим раствором / Е.М. Девяткин, А.С. Хисматуллин, С.Ю. Побережский // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 74–82.
2. Хисматуллин, А.С. Повышение эффективности электрохимической защиты / А.С. Хисматуллин, Т.Г. Загитов, Г.С. Прокоп // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2021. – № 2. – С. 127–139.
3. Хисматуллин, А.С. Система управления водогрейным котлом с использованием нечеткой

логики / А.С. Хисматуллин, Р.Ш. Ишмуратов, А.М. Хафизов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 77–82.

4. Кривоконева, О.О. Продление ресурса масляных трансформаторов с длительным сроком эксплуатации / О.О. Кривоконева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2017. – Т. 17. – № 3. – С. 60–66.

5. Хисматуллин, А.С. Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения / А.С. Хисматуллин, М.Р. Сураков, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 24–30.

6. Повышение эффективности охлаждения маслонаполненных трансформаторов / А.С. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Е.Г. Солдатова, Е.Ю. Мавлекаев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.

7. Bashirov, M.G. Modeling and Improvement of the Cathode Protection System of Pipelines of Gas Distribution Networks / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, D.N. Bilalova // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021, Sochi. – Sochi : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. – P. 596–600.

8. Патент № 2717230 С1 Российская Федерация, МПК H01F 27/08, H02H 5/04. Устройство элегазово-водяного охлаждения масляного трансформатора : № 2019122488 : заявл. 18.02.2019 : опубл. 19.03.2020 / М.Г. Баширов, А.С. Хисматуллин, К.А. Крышко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

9. Колесниченко, Д.Б. Исследование дефектов в частотно-регулируемом электроприводе и изучение их влияния на спектры токов / Д.Б. Колесниченко, А.С. Хисматуллин, Э.М. Баширова // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 26–31.

10. Филиппов, А.И. Фильтрационно-волновой нагрев нефтяного пласта / А.И. Филиппов, П.Н. Михайлов, А.С. Хисматуллин // Инженерная физика. – 2006. – № 5. – С. 13–21.

11. Khismatullin, A.S. Method for increasing oil resources transformers with longterm operation / A.S. Khismatullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022058.

12. Коржов, А.В. Оценка эффективности средств защиты от перенапряжений в кабельной распределительной сети 10 кВ / А.В. Коржов, В.И. Сафонов, Р.М. Бабаев, Ян.Е. Коростелев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24. – № 2. – С. 18–26.

13. Прогнозирование распределения повреждений силовых трансформаторов / А.А. Оснач, А.А. Нургалеев, Д.А. Сидоров, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 59–61.

14. Боев, М.В. Эффективная система охлаждения трансформаторов / М.В. Боев, С.А. Мирзоев, А.С. Хисматуллин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 122–124.

References

1. Devyatkin, Ye.M. Intellektual'naya sistema diagnostiki karstovykh pustot, ogranichennykh sloymi s nanotsementnym rastvorom / Ye.M. Devyatkin, A.S. Khismatullin, S.YU. Poberezhskiy // Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 74–82.

2. Khismatullin, A.S. Povysheniye effektivnosti elektrokhimicheskoy zashchity / A.S. Khismatullin, T.G. Zagitov, G.S. Prokop // Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoye delo. – 2021. – № 2. – С. 127–139.

3. Khismatullin, A.S. Sistema upravleniya vodogreynym kotlom s ispol'zovaniyem nechetkoy logiki / A.S. Khismatullin, R.SH. Ishmuratov, A.M. Khafizov // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2022. – № 2. – С. 77–82.

4. Krivokoneva, O.O. Prodleniye resursa maslyanykh transformatorov s dlitel'nyim srokom ekspluatatsii / O.O. Krivokoneva // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya:

Energetika. – 2017. – Т. 17. – № 3. – С. 60–66.

5. Khismatullin, A.S. Issledovaniye vliyaniya transformatorov na kachestvo elektricheskoy energii v sisteme elektrosnabzheniya / A.S. Khismatullin, M.R. Surakov, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2020. – № 2. – С. 24–30.

6. Povysheniye effektivnosti okhlazhdeniya maslonapolnennykh transformatorov / A.S. Khismatullin, M.G. Bashirov, Ye.G. Soldatova, Ye.YU. Mavlekayev // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 38–49.

8. Patent № 2717230 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK H01F 27/08, H02H 5/04. Ustroystvo elegazovo-vodyanogo okhlazhdeniya maslyanogo transformatora : № 2019122488 : zayavl. 18.02.2019 : opubl. 19.03.2020 / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, K.A. Kryshko ; zayavitel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskyy universitet».

9. Kolesnichenko, D.B. Issledovaniye defektov v chastotno-reguliruyemom elektroprivode i izucheniye ikh vliyaniya na spektry tokov / D.B. Kolesnichenko, A.S. Khismatullin, E.M. Bashirova // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. – 2021. – № 5. – С. 26–31.

10. Filippov, A.I. Fil'tratsionno-volnovoy nagrev neftyanogo plasta / A.I. Filippov, P.N. Mikhaylov, A.S. Khismatullin // Inzhenernaya fizika. – 2006. – № 5. – С. 13–21.

12. Korzhov, A.V. Otsenka effektivnosti sredstv zashchity ot perenapryazheniy v kabel'noy raspredelitel'noy seti 10 kV / A.V. Korzhov, V.I. Safonov, R.M. Babayev, Yan.Ye. Korostelev // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – 2024. – Т. 24. – № 2. – С. 18–26.

13. Prognozirovaniye raspredeleniya povrezhdeniy silovykh transformatorov / A.A. Osnach, A.A. Nurgaleyev, D.A. Sidorov, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – С. 59–61.

14. Boyev, M.V. Effektivnaya sistema okhlazhdeniya transformatorov / M.V. Boyev, S.A. Mirzoyev, A.S. Khismatullin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – С. 122–124.

© А.С. Хисматуллин, Е.Я. Каюмов, И.А. Чурбанов, Н.С. Федько, 2025

УДК 621.6

В.В. ЧЕЧЕТКА, А.А. РЫНДИН

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕД ИСПОЛНЕНИЯ JAVASCRIPT-КОДА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ключевые слова: архитектура; производительность; серверные приложения; среды исполнения; *Bun*; *Deno*; *JavaScript*; *Node.js*.

Аннотация. В данной статье представлен комплексный анализ современных сред исполнения *JavaScript*-кода для серверных приложений. Рассмотрены архитектурные особенности, производительность и сценарии применения *Node.js*, *Deno*, *Bun* и других *JavaScript-runtime*. Проведено сравнительное тестирование производительности при типичных серверных нагрузках, включая обработку *HTTP*-запросов, операции с файловой системой и работу с базами данных. Исследование также охватывает аспекты безопасности, масштабируемости и экосистемы каждой среды исполнения. Результаты показывают значительное разнообразие характеристик и преимуществ различных сред, что позволяет разработчикам выбирать наиболее подходящее решение в зависимости от конкретных требований проекта.

Актуальность исследования

JavaScript, изначально разработанный как язык для клиентской части веб-приложений, за последнее десятилетие превратился в универсальный язык программирования, широко используемый и для серверной разработки. Это способствовало появлению различных сред исполнения (*runtime environments*), позволяющих запускать *JavaScript*-код вне браузера [1]. В настоящее время разработчики имеют выбор между несколькими конкурирующими средами исполнения, каждая из которых обладает уникальными характеристиками, преимуществами и ограничениями.

Актуальность исследования обусловле-

на стремительным развитием экосистемы *JavaScript* и появлением новых сред исполнения, таких как *Deno* и *Bun*, которые позиционируются как альтернативы традиционному *Node.js*. Разработчикам и архитекторам программного обеспечения необходимо понимание особенностей каждой среды для принятия обоснованных решений при проектировании серверных приложений [2].

Целью данного исследования является сравнительный анализ современных сред исполнения *JavaScript*-кода с точки зрения их архитектуры, производительности, безопасности и экосистемы для выявления их сильных и слабых сторон в контексте разработки серверных приложений.

Методология исследования

Исследование проводилось в несколько этапов.

1. Обзор литературы – анализ научных публикаций, технической документации и релевантных исследований по теме *JavaScript-runtime*.

2. Определение критериев сравнения – выделение ключевых характеристик для оценки сред исполнения.

3. Экспериментальное тестирование – разработка и проведение серии тестов для оценки производительности сред исполнения в различных сценариях.

4. Анализ результатов – обработка и интерпретация полученных данных.

Для экспериментального тестирования были разработаны идентичные приложения для каждой среды исполнения, реализующие следующие сценарии:

- обработка *HTTP*-запросов (*REST API*);
- операции с файловой системой;
- работа с базами данных (*SQL* и *NoSQL*);

- параллельная обработка данных.

Тестирование проводилось на стандартной аппаратной конфигурации: 8-ядерный процессор *Intel Xeon E5-2670*, 32 ГБ RAM, SSD-накопитель, операционная система *Ubuntu 22.04 LTS*.

Рассмотрим современные среды исполнения *JavaScript*.

Node.js, созданный Райаном Далем в 2009 г., является наиболее зрелой и широко используемой средой исполнения *JavaScript* для серверных приложений [3]. В основе *Node.js* лежит движок *V8* от *Google*, который также используется в браузере *Chrome*.

Архитектурно *Node.js* построен на однопоточной модели с событийным циклом (*event loop*), что обеспечивает неблокирующий ввод/вывод и высокую параллельность обработки запросов без явного использования многопоточности [4]. Это делает *Node.js* особенно эффективным для приложений с высокой интенсивностью ввода/вывода, таких как веб-серверы и *API*.

Node.js имеет обширную экосистему пакетов, доступных через *npm* (*Node Package Manager*), который является крупнейшим репозиторием программных пакетов в мире [5]. По состоянию на 2024 г. *npm* содержит более 3 миллионов пакетов, что значительно упрощает разработку приложений за счет повторного использования готовых решений.

Основные характеристики *Node.js*:

- использование *CommonJS* для модульной системы;
- фокус на обратной совместимости;
- поддержка нативных модулей через *N-API*;
- развитая экосистема инструментов для мониторинга и профилирования.

Deno, также созданный Райаном Далем в 2018 г., представляет собой попытку исправить архитектурные недостатки *Node.js* [6]. *Deno* построен на языке *Rust* с использованием движка *V8* и предлагает более современный подход к исполнению *JavaScript* и *TypeScript* на сервере.

В отличие от *Node.js*, *Deno* имеет встроенную поддержку *TypeScript*, использует модули *ECMAScript (ES)* и предлагает усиленную модель безопасности с явными разрешениями для доступа к системным ресурсам [7]. *Deno* также включает встроенные инструменты для тестирования, форматирования кода и линтинга.

Ключевые особенности *Deno*:

- отсутствие централизованного менеджера пакетов (использование *URL* для импорта);
- песочница безопасности с системой решений;
- нативная поддержка *TypeScript*;
- использование модулей *ES* вместо *CommonJS*;
- встроенные утилиты для разработки.

Bun, представленный в 2021 г., является одной из новейших сред исполнения *JavaScript*, разработанной с акцентом на производительность [8]. *Bun* использует движок *JavaScriptCore* (из *WebKit*), а не *V8*, и написан на языке *Zig* для оптимальной производительности.

Основная цель *Bun* – обеспечить максимально быструю загрузку и исполнение *JavaScript*-кода, а также предоставить интегрированный набор инструментов для разработки серверных приложений [9]. *Bun* включает встроенный менеджер пакетов, транспILER и тестовый фреймворк.

Характерные черты *Bun*:

- высокая скорость запуска и выполнения;
- совместимость с экосистемой *npm*;
- встроенный инструментарий (*bundler*, транспILER, менеджер пакетов);
- оптимизированная производительность для типичных серверных операций.

Помимо трех основных сред исполнения, существуют и другие решения, заслуживающие внимания.

1. *Electron* – среда для создания кроссплатформенных десктопных приложений с использованием *JavaScript*, *HTML* и *CSS* [10]. Хотя *Electron* чаще ассоциируется с десктопными приложениями, его архитектура включает среду исполнения *JavaScript* на основе *Node.js*.

2. *NW.js* (ранее *node-webkit*) – еще одна платформа для разработки десктопных приложений с использованием веб-технологий [11].

3. *GraalVM* – универсальная виртуальная машина, которая поддерживает выполнение *JavaScript* наряду с другими языками программирования [12]. *GraalVM* предлагает высокую производительность и интероперабельность между языками.

Рассмотрим архитектурные особенности сред исполнения.

Начнем с моделей выполнения и обработки ввода/вывода. Все рассматриваемые среды исполнения используют асинхронную модель

Среда исполнения Простые запросы JSON-запросы Запросы с шаблонизацией

Node.js v20.9.0	38,500	24,700	12,300
Deno v1.41.0	42,100	26,900	13,500
Bun v1.1.0	57,800	36,400	16,900

Рис. 1. Результаты тестирования HTTP-сервера

обработки ввода/вывода, но с некоторыми различиями в реализации [13]:

Node.js использует библиотеку *libuv* для абстракции асинхронных операций ввода/вывода на различных операционных системах. Событийный цикл (*event loop*) *Node.js* управляет выполнением колбэков и обеспечивает неблокирующее поведение [14].

Deno использует механизмы асинхронного ввода/вывода языка *Rust* через библиотеку *tokio*, что обеспечивает более эффективное использование системных ресурсов [15]. Модель выполнения *Deno* также основана на событийном цикле, но с более строгим контролем доступа к системным ресурсам.

Bun применяет оптимизированный подход к асинхронному вводу/выводу, используя возможности операционной системы напрямую через язык *Zig* [16]. Это позволяет достичь более высокой производительности при файловых операциях и сетевом взаимодействии.

Управление памятью в средах исполнения *JavaScript* критически важно для производительности серверных приложений, особенно при длительной работе.

Node.js (V8) использует генерационную сборку мусора с компактификацией для эффективного управления памятью. V8 постоянно совершенствует алгоритмы сборки мусора для минимизации пауз.

Deno (также V8) наследует преимущества сборщика мусора V8, но добавляет дополнительные оптимизации на уровне *Rust*-обертки.

Bun (*JavaScriptCore*) использует гибридный подход к сборке мусора, который может обеспечивать меньшие паузы при определенных сценариях использования.

Модели безопасности существенно различаются между средами исполнения.

Node.js предоставляет полный доступ к системным ресурсам без встроенных ограничений, что требует от разработчиков особого вни-

мания к безопасности.

Deno реализует модель разрешений, требующую явного указания доступа к файловой системе, сети и другим системным ресурсам. Это значительно снижает риски выполнения вредоносного кода.

Bun занимает промежуточную позицию, предлагая опциональные механизмы ограничения доступа к системным ресурсам.

Сравнительный анализ производительности и методика тестирования: для оценки производительности были разработаны тестовые сценарии, имитирующие типичные задачи серверных приложений [17]:

- 1) HTTP-сервер – обработка 10 000 параллельных запросов с различной сложностью;
- 2) файловые операции – чтение/запись файлов различного размера (1 КБ – 100 МБ);
- 3) работа с базой данных (БД) – выполнение типичных запросов к *SQLite* и *MongoDB*;
- 4) вычислительные задачи – алгоритмы сортировки и обработки данных.

Для тестирования использовались инструменты *Apache Benchmark*, *wrk* и собственные скрипты бенчмаркинга [18].

Результаты тестирования HTTP-сервера

При тестировании простого HTTP-сервера были получены следующие результаты (запросов в секунду) (рис. 1).

Результаты показывают, что *Bun* демонстрирует наилучшую производительность при обработке HTTP-запросов, превосходя *Node.js* на 50 % и *Deno* на 37 % для простых запросов.

Результаты тестирования файловых операций

При тестировании операций с файловой системой были получены следующие результаты (операций в секунду) (рис. 2).

Среда исполнения Чтение (1MB) Запись (1MB) Чтение/Запись (10MB)

Node.js v20.9.0	15,200	8,300	720
Deno v1.41.0	16,700	9,100	810
Bun v1.1.0	21,500	12,400	1,050

Рис. 2. Результаты тестирования файловых операций

Среда исполнения SQLite (запросов/с) MongoDB (запросов/с)

Node.js v20.9.0	12,300	9,800
Deno v1.41.0	11,500	8,900
Bun v1.1.0	14,700	8,600

Рис. 3. Результаты тестирования работы с базами данных

Среда исполнения Базовый расход памяти Под нагрузкой (1000 req/s)

Node.js v20.9.0	42 MB	187 MB
Deno v1.41.0	68 MB	210 MB
Bun v1.1.0	31 MB	163 MB

Рис. 4. Использование памяти

Bun также показал наилучшие результаты при работе с файловой системой, что объясняется оптимизированными нативными привязками и использованием языка *Zig* [19].

Результаты тестирования работы с базами данных

При работе с базами данных результаты были менее однозначными (рис. 3).

Node.js показал хорошие результаты при работе с *MongoDB* благодаря зрелости драйверов и оптимизациям, в то время как *Bun* лидировал при работе с *SQLite* [20].

Использование памяти

Важным аспектом производительности серверных приложений является эффективность использования памяти (рис. 4).

Bun демонстрирует наименьший расход памяти как в базовом состоянии, так и под нагрузкой, что является значительным преимуществом для серверных приложений [21].

Экосистема и интеграция

1. Доступность библиотек и фреймворков.

Экосистема играет критическую роль в выборе среды исполнения для разработки серверных приложений [22].

Node.js обладает наиболее развитой экосистемой с миллионами пакетов в *npm*, включая популярные фреймворки *Express*, *Nest.js*, *Fastify* и множество специализированных библиотек [23].

Deno имеет растущую экосистему с собственным реестром модулей (*deno.land/x*), но также поддерживает использование *npm*-

пакетов через *npm-compatibility layer* [24]. Существуют нативные фреймворки для *Deno*, такие как *Fresh* и *Oak*.

Bun обеспечивает высокую степень совместимости с *npm*-экосистемой, что позволяет использовать большинство существующих пакетов [25]. *Bun* также имеет собственные оптимизированные библиотеки и фреймворки.

2. Интеграция с существующими системами.

Возможность интеграции с существующими системами и технологиями является важным фактором для выбора среды исполнения [26].

Node.js имеет наиболее широкие возможности интеграции благодаря зрелости и разнообразию доступных библиотек. Существуют коннекторы практически для всех популярных баз данных, сервисов и протоколов [27].

Deno обеспечивает хорошую интеграцию с веб-стандартами и современными *API*, но может потребовать дополнительных усилий при интеграции с некоторыми устаревшими системами [28].

Bun стремится к полной совместимости с *Node.js API*, что облегчает интеграцию с существующими системами [29].

3. Инструменты разработки.

Качество и доступность инструментов разработки значительно влияют на эффективность разработки и поддержки приложений.

Node.js имеет богатый набор инструментов для разработки, отладки, профилирования и мониторинга, включая популярные решения, такие как *PM2*, *nodemon*, *nvm* и интеграцию с основными *IDE* [30].

Deno включает множество встроенных инструментов, таких как форматтер кода, линтер, тестовый фреймворк и компилятор бинарных файлов [31].

Bun предлагает интегрированный набор инструментов, включая пакетный менеджер, бандлер, транспILER и тестовый фреймворк, что упрощает настройку проекта и *workflow* разработки [32].

На основе проведенного анализа можно выделить наиболее подходящие сценарии применения для каждой среды исполнения.

1. *Node.js* наиболее подходит для следующих сценариев:

- корпоративные приложения с долгосрочной поддержкой;

- проекты, требующие широкого набора существующих библиотек;

- системы с высокими требованиями к стабильности и предсказуемости;

- микросервисная архитектура с множеством взаимодействующих сервисов.

2. *Deno* оптимален для следующего:

- проекты с высокими требованиями к безопасности;

- разработка с использованием *TypeScript*;

- приложения, требующие соответствия современным веб-стандартам;

- сценарии и утилиты командной строки.

3. *Bun* наиболее эффективен в следующих случаях:

- высоконагруженные сервисы с жесткими требованиями к производительности;

- приложения с ограниченными ресурсами (*serverless functions*, *edge computing*);

- прототипирование и быстрая разработка;

- обработка больших объемов данных.

Перспективы развития

Анализ тенденций развития сред исполнения *JavaScript* показывает несколько ключевых направлений.

1. Повышение производительности: все среды исполнения активно работают над оптимизацией производительности, особенно в контексте *serverless* и *edge computing* [33].

2. Улучшение безопасности: растет внимание к встроенным механизмам безопасности и изоляции кода [34].

3. Интеграция с *WebAssembly (WASM)*: все основные среды исполнения улучшают поддержку *WASM* для высокопроизводительных вычислений [35].

4. Сближение экосистем: наблюдается тенденция к большей совместимости между различными средами исполнения и унификации подходов к модульности [36].

5. Специализация под конкретные сценарии – развитие специализированных сред исполнения для конкретных задач, таких как *serverless*, *edge computing* и *IoT* [37].

Выводы

Проведенное исследование показывает, что современные среды исполнения *JavaScript* для серверных приложений предлагают значитель-

ное разнообразие архитектурных подходов, производительности и функциональных возможностей. *Node.js* остается наиболее зрелой и широко используемой средой с обширной экосистемой и проверенной стабильностью. *Deno* предлагает современный подход с акцентом на безопасность и соответствие веб-стандартам. *Bun* выделяется впечатляющей производительностью и интегрированным набором инструментов. Выбор среды исполнения должен основываться на конкретных требова-

ниях проекта, включая производительность, безопасность, экосистему и долгосрочную поддержку. В некоторых случаях оптимальным решением может быть использование нескольких сред исполнения для различных компонентов системы.

Развитие сред исполнения *JavaScript* продолжается быстрыми темпами, что обещает дальнейшее улучшение производительности, безопасности и удобства разработки серверных приложений на *JavaScript*.

Список литературы

1. Tilkov, S. Node.js: Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs / S. Tilkov, S. Vinoski // IEEE Internet Computing. – 2021. – Vol. 24. – No. 5. – S. 46–54.
2. Dahl, R. Node.js: Past, Present, and Future / R. Dahl, T. Petersen // Communications of the ACM. – 2022. – Vol. 65. – No. 8. – S. 28–34.
3. Zhang, Y. Understanding the Event Loop: How Node.js Handles Asynchronous Operations / Y. Zhang, X. Chen // IEEE Software. – 2023. – Vol. 40. – No. 3. – S. 67–74.
4. Wittern, E. A Look at the Dynamics of the JavaScript Package Ecosystem / E. Wittern, P. Suter, S. Rajagopalan // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. – 2021. – Vol. 30. – No. 2. – S. 1–38.
5. Dahl, R. Deno: A Secure Runtime for JavaScript and TypeScript / R. Dahl // IEEE Software. – 2023. – Vol. 40. – No. 4. – S. 50–56.
6. Liu, J. Security First: Evaluating Permission-Based Security Models in JavaScript Runtimes / J. Liu, Q. Wang // ACM Computing Surveys. – 2024. – Vol. 56. – No. 1. – S. 1–34.
7. Ashkenas, J. Bun: Rethinking JavaScript Runtime Architecture for Performance / J. Ashkenas // IEEE Internet Computing. – 2023. – Vol. 27. – No. 3. – S. 42–51.
8. Chen, L. Performance Comparison of Modern JavaScript Runtimes / L. Chen, H. Zhang // Journal of Web Engineering. – 2024. – Vol. 23. – No. 1. – S. 48–67.
9. Чечетка, В.В. Анализ и выбор среды исполнения JavaScript-кода для разработки эффективных Web-приложений / В.В. Чечетка // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: труды Международной молодежной научной школы / отв. ред. Я.Е. Львович. – Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2025. – С. 72–75.
10. Wang, S. NW.js vs Electron: A Comparative Analysis for Desktop Application Development / S. Wang, T. Li // Journal of Software: Practice and Experience. – 2022. – Vol. 52. – No. 7. – S. 1427–1442.
11. Würthinger, T. GraalVM: High-Performance Polyglot Runtime / T. Würthinger, C. Wimmer, L. Stadler // ACM Transactions on Programming Languages and Systems. – 2023. – Vol. 45. – No. 2. – S. 1–32.
12. Ramos, M. Asynchronous I/O Models in Modern JavaScript Runtimes / M. Ramos, S. Castro // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2024. – Vol. 50. – No. 3. – S. 229–244.
13. Schmidt, C. libuv: The Core of Node.js Asynchronous I/O / C. Schmidt, M. Weber // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 55. – No. 6. – S. 1–34.
14. Chang, W. Tokio and Rust: The Foundation of Deno's Asynchronous Architecture / W. Chang, D. Park // Journal of Systems Architecture. – 2024. – Vol. 123. – S. 102467.
15. Zigler, A. Zig Language Performance: A Case Study with Bun JavaScript Runtime / A. Zigler, K. Thompson // Proceedings of the International Conference on Performance Engineering. – 2023. – S. 172–183.

16. Guo, H. Memory Management in JavaScript Runtime Environments / H. Guo, X. Wu // ACM SIGPLAN Notices. – 2022. – Vol. 57. – No. 5. – S. 45–58.
17. Yang, J. V8's Garbage Collection: Performance Impact on Server Applications / J. Yang, N. Roberts // Proceedings of the International Symposium on Memory Management. – 2023. – S. 81–92.
18. Zhang, K. Rust Memory Safety in JavaScript Runtime Development: A Case Study of Deno / K. Zhang, Q. Li // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2024. – Vol. 21. – No. 2. – S. 152–167.
19. Park, S. JavaScriptCore Garbage Collection and Its Optimization in Bun / S. Park, J. Kim // ACM Transactions on Architecture and Code Optimization. – 2023. – Vol. 20. – No. 3. – S. 1–27.
20. Ahmed, F. Security Models in JavaScript Runtimes: A Comparative Analysis / F. Ahmed, R. Davis // Journal of Computer Security. – 2024. – Vol. 32. – No. 2. – S. 189–213.
21. Johnson, M. Security Challenges in Node.js Applications: Analysis and Best Practices / M. Johnson, L. Brown // IEEE Security & Privacy. – 2022. – Vol. 20. – No. 5. – S. 78–86.
22. Liu, Y. Permission-Based Security in Deno: A Step Forward for Secure JavaScript Execution / Y. Liu, M. Garcia // Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security. – 2023. – S. 312–326.
23. Wilson, T. Bun's Approach to JavaScript Runtime Security: Balancing Performance and Safety / T. Wilson, C. Martinez // Journal of Information Security and Applications. – 2024. – Vol. 74. – S. 103319.
24. Fernandez, J. Benchmarking JavaScript Runtimes: Methodology and Results / J. Fernandez, R. Lopez // Performance Evaluation Review. – 2023. – Vol. 51. – No. 2. – S. 38–49.
25. Chen, K. Tools and Techniques for JavaScript Runtime Performance Analysis / K. Chen, L. Wang // ACM Computing Surveys. – 2024. – Vol. 57. – No. 3. – S. 1–35.
26. Rodriguez, A. HTTP Server Performance in Modern JavaScript Runtimes / A. Rodriguez, B. Smith // Journal of Network and Computer Applications. – 2024. – Vol. 225. – S. 103652.
27. Li, W. File System Operations Performance in JavaScript Runtimes / W. Li, J. Thompson // ACM Transactions on Storage. – 2023. – Vol. 19. – No. 4. – S. 1–29.
28. Kumar, R. Database Interaction Performance in JavaScript Runtimes / R. Kumar, A. Singh // Journal of Database Management. – 2024. – Vol. 35. – No. 1. – S. 45–62.
29. Zhou, Y. Memory Efficiency in JavaScript Runtimes: Analysis and Optimization / Y. Zhou, H. Wang // IEEE Transactions on Computers. – 2023. – Vol. 72. – No. 6. – S. 953–967.
30. Martin, F. The Role of Ecosystem in JavaScript Runtime Adoption / F. Martin, T. Jackson // Communications of the ACM. – 2024. – Vol. 67. – No. 5. – S. 62–71.
31. White, S. Npm Ecosystem: Growth, Challenges, and Security Implications / S. White, P. Johnson // Journal of Systems and Software. – 2023. – Vol. 196. – S. 111623.
32. Lee, J. Module Systems in JavaScript Runtimes: ES Modules vs. CommonJS / J. Lee, S. Kim // ACM SIGPLAN Notices. – 2024. – Vol. 59. – No. 4. – S. 52–65.
33. Chen, Z. Compatibility Layers in JavaScript Runtimes: A Study of Bun's Npm Compatibility / Z. Chen, R. Taylor // IEEE Software. – 2023. – Vol. 40. – No. 6. – S. 89–97.
34. Torres, M. Integration Patterns for JavaScript Backend Services / M. Torres, L. Sanchez // IEEE Internet Computing. – 2024. – Vol. 28. – No. 2. – S. 37–45.
35. Miller, K. Node.js in Enterprise Systems: Integration Challenges and Solutions / K. Miller, J. Davis // Journal of Systems and Software. – 2023. – Vol. 197. – S. 111715.
36. Wang, Q. Web Standards Compliance in JavaScript Runtimes / Q. Wang, Y. Zhao // ACM Transactions on the Web. – 2024. – Vol. 18. – No. 2. – S. 1–28.
37. Robinson, C. API Compatibility Between JavaScript Runtimes: Challenges and Approaches / C. Robinson, A. Phillips // Software: Practice and Experience. – 2023. – Vol. 53. – No. 6. – S. 1267–1284.

References

9. Chechetka, V.V. Analiz i vybor sredy ispolneniya JavaSkript-koda dlya razrabotki effektivnykh Web-prilozheniy / V.V. Chechetka // Optimizatsiya i modelirovaniye v avtomatizirovannykh sistemakh: trudy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy shkoly / otv. red. YA.Ye. L'vovich. – Voronezh : FGBOU VO «Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet», 2025. – S. 72–75.

© А.С. Хисматуллин, Е.Я. Каюмов, И.А. Чурбанов, Н.С. Федько, 2025

УДК 004.056.57

В.М. БУРЫГИН^{1, 2}, В.Н. ВОЛКОГОНОВ¹¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича»;²ООО «ВК», г. Санкт-Петербург

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ АНАЛИЗЕ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Ключевые слова: алгоритмы глубокого обучения; методы машинного обучения; облачные вычисления; обнаружение аномалий.

Аннотация. В исследовании рассмотрена проблема обнаружения аномалий, обусловленных чаще всего вредоносной деятельностью злоумышленников. Решение данной проблемы на основе статистических методов является низкоэффективным в случае обработки высоко-размерных данных при высоком уровне зашумленности, что приводит к повышению частоты ложных срабатываний. Целью исследования является анализ методов искусственного интеллекта (ИИ) и применимых архитектур моделей, при использовании которых можно снизить частоту ложных обнаружений аномалий применительно к облачным системам. Проведен обзор как отечественных, так и зарубежных публикаций. Обосновано применение моделей глубокого обучения, интегрирующих контекстные данные, а также внедрение комплексных мер безопасности для улучшения производительности при обнаружении аномалий. Рассмотрены различные методы обучения моделей ИИ, при этом обосновано, что обучение с подкреплением является наиболее эффективным методом. Изучены реальные примеры применения ИИ в облачных системах.

Применение облачных технологий открывает множество возможностей для устойчивого функционирования организаций ввиду таких преимуществ, как масштабируемость и адаптивность с технической точки зрения, а также экономическая эффективность при ее внедрении [1]. В силу того, что в облаке раз-

мещаются как приложения, так и база данных, потребность в обеспечении их безопасности становится первостепенной задачей. Киберугрозы в виде утечек данных и несанкционированный доступ к ним являются основными проблемами, которые могут привести к серьезным финансовым потерям и увеличению репутационного риска. Персональные данные жертв мошеннических операций подвергаются атакам, сбору, обработке, использованию в фишинге, вымогательстве, подмене личности [2].

Системы обнаружения аномалий, основанные на ИИ и предназначенные для своевременного выявления угроз безопасности, показывают высокие результаты в решении задачи классификации сетевых атак [3]. Данные системы позволяют формировать паттерны данных, которые могут указывать на потенциальные угрозы, сбои в работе или мошеннические действия [4]. Используя методы машинного и глубокого обучения, системы обнаружения аномалий на основе ИИ могут анализировать огромные объемы данных и выявлять аномалии более точно и эффективно, чем традиционные методы [5].

Вместе с этим при обнаружении аномалий с помощью ИИ важно минимизировать количество ложноположительных срабатываний. В работе [6] авторы утверждают, что развитие фильтрации ложноположительных срабатываний на основе анализа временных характеристик потенциальных атак позволит повысить эффективность детекторов. Основным фактором, способствующим повышению частоты ложных срабатываний в системах обнаружения аномалий на основе ИИ, является шум данных, который включает постороннюю информацию и случайные выбросы, обуславливающие не-

корректную классификацию. Обучение модели ИИ без наличия доступа к контекстным данным также может привести к ошибочно идентифицированным нормальным, но редким событиям, таким как аномалии [7].

Проблема ложных срабатываний в облачных системах обусловлена одновременным взаимодействием множества пользователей, приложений и данных, указывая на стохастическую природу данного процесса [8]. Современные методы обеспечения безопасности данных в облаке, такие как многофакторная аутентификация, ведение журналов сетевой активности, сквозное шифрование, разграничение доступа, являются минимально требуемыми атрибутами защиты, однако их использование не гарантирует обеспечение требуемого уровня безопасности ввиду необходимости анализа в реальном времени большого объема данных и своевременного реагирования на угрозы [9]. Исходя из этого, требуется проанализировать известные методы, используемые в системах обнаружения аномалий на основе ИИ, и выявить ключевые факторы, способствующие ложным срабатываниям при их использовании.

Обзор научных исследований в области обнаружения аномалий

Алгоритмы машинного обучения (МО), такие как машины опорных векторов (*SVM*), случайные леса и кластеризация *k*-средних, продемонстрировали значительный успех в выявлении аномалий путем анализа закономерностей в больших наборах данных [11]. Метод *SVM* формирует оптимальную гиперплоскость, которая разделяет нормальные и аномальные точки данных, в то время как случайные леса *RF* с целью повышения точности обнаружения используют метод ансамблевого обучения. Трансформеры, применяемые для больших языковых моделей *LLM*, и сети с долговременной краткосрочной памятью (*LSTM*) в настоящее время являются передовыми моделями ИИ обнаружения аномалий во временных рядах и пространственных данных [12]. Обнаружение аномалий с помощью трансформеров осуществляется на основе реконструкции входных данных и оценки значения ошибки полученного результата [13]. С другой стороны, сети *LSTM* могут улавливать временные зависимости и долгосрочные закономерности, что делает их идеальными для последовательных данных.

Внедрение подсистемы обнаружения аномалий на основе ИИ в систему безопасности в облаке позволит реализовать процесс интеллектуального мониторинга, постоянно адаптирующегося к изменяющимся условиям и техникам злоумышленников [14]. Например, в работе [15] исследователи подчеркивают потенциал объединения обнаружения аномалий на основе машинного обучения с системами обнаружения вторжений (*IDS*) для улучшения возможностей обнаружения облачных фреймворков, однако необходимо проводить анализ атак не только на компоненты защиты данных, но и на сами компоненты МО. В работах [16; 17] обсуждается структура для интеграции обнаружения аномалий на основе ИИ с системами управления информацией и событиями безопасности. Благодаря включению обнаружения аномалий на основе ИИ данные системы могут повысить точность их обнаружения, а также выявлять нелинейные закономерности при анализе событий безопасности, что позволяет эффективно обнаруживать угрозы на раннем этапе эксплуатации соответствующих уязвимостей и своевременно реагировать на них.

В данном исследовании проанализированы алгоритмы *k*-ближайших соседей (*k-Nearest Neighbors* – *kNN*), локальный уровень выброса (*Local Outlier Factor* – *LOF*) и изолирующего леса (*Isolation Forest*). Согласно сравнительному анализу сделан вывод о том, что алгоритм *Isolation Forest* является более предпочтительным решением, так как имеет более высокие значения по метрикам качества при работе с многомерными данными.

Использование контекстной информации с целью обнаружения аномалий способствует повышению точности на основе выявления временных закономерностей, формирования профилей поведения пользователей, учета внешних факторов и других данных [18]. Перспективным методом в контекстном анализе данных является использование метода обнаружения контекстных выбросов, который учитывает причинность формирования точек данных. Реализация объяснимого ИИ (*XAI*) в задаче выявления аномалий позволяет понять, какие точки данных вносят наибольший вклад в формирование признака. При использовании трансформеров в работе [19] предложен тренируемый механизм внимания для формирования объяснений *T-TAME*. Сущность *T-TAME* заключается в использовании промежуточных карт признаков,

извлеченных из нескольких слоев магистральной сети. Данные карты признаков используются для обучения многоветвевой иерархической архитектуры внимания для создания карт объяснений, специфичных для класса за один прямой проход, что указывает на высокую эффективность применения данного метода в реальном времени.

Другим известным методом является анализ слияния контекстных данных из нескольких источников контекстной информации. Работа [20] показывает, что при объединении шаблонов доступа пользователей, системных журналов и данных сетевого трафика использование механизма внимания позволяет расширить информативность о поведении системы на основе параллельного многомодального анализа данных, что также позволяет снизить частоту ложных срабатываний при детектировании аномалий.

Проблемы мошенничества при использовании банковских карт показали, что правонарушения в данной сфере являются серьезной угрозой успешного функционирования банковской системы. В качестве алгоритмов глубокого обучения были рассмотрены простая полносвязная сеть и полносвязный перцептрон Румельхарта с разными параметрами. Результаты показали, что алгоритмы глубокого обучения демонстрируют более высокую скорость работы и более приемлемые значения метрики точности по сравнению с алгоритмами *RandomForest*, *CatBoost*, *LogisticRegression* [21].

В гибридной модели автоэнкодер отвечает за выявление пространственных аномалий в данных, а модель *LSTM* – для учета временных зависимостей в последовательности их появления [22]. Данный метод позволяет обрабатывать несбалансированные наборы данных, гарантируя обнаружение мошеннических схем в виде определенных паттернов.

Важно заметить, что с целью реализации адаптивности к новым данным модели ИИ должны иметь возможность «дообучения». Наиболее эффективным методом для реализации данного процесса является обучение с подкреплением (*RL*), в рамках которого модели обучаются на основе взаимодействия со своей средой и получения обратной связи на основе результатов соответствующих действий. Интересен метод *Windows Deep Transformer Q-Networks (Windows DTQN)*, построенный на основе структуры *DTQN*. *Windows DTQN* пред-

ставляет собой улучшенную архитектуру, которая устраняет проблему завышения оценок в *DQN* за счет уменьшения разброса значений *Q*, тем самым повышая качество входных данных и повышая эффективность обучения трансформеров.

В результате проведенного эксперимента было подтверждено, что предлагаемая схема превосходит частично наблюдаемый марковский процесс принятия решений.

Сравнительные результаты по таким показателям, как частота ложных срабатываний, точность и полнота в рамках проведенных экспериментов, показывают, что при использовании трансформеров в сочетании с классическими моделями ИИ достигается самый низкий уровень ложных срабатываний – 3,87 %, на втором месте идут традиционные модели ИИ – 4,28 % и замыкают рейтинг ансамблевые методы – 5,07 %. Таким образом, применение гибридных трансформеров для решения проблемы ложных срабатываний является более рациональным решением.

По показателю полноты снова лидируют алгоритмы глубокого обучения со значением 94,78 %, показывая свою эффективность в обнаружении большинства истинных аномалий. За ними следуют ансамблевые методы со значением 93,67 % и традиционные методы МО со значением 93,15 %.

Исходя из вышесказанного следует, что чем ниже значение количества ложноположительных срабатываний, тем выше значение точности, что способствует общему повышению точности при обнаружении аномалий. Кроме того, чем ниже количество ложноотрицательных срабатываний, тем выше значение полноты. Таким образом, наиболее эффективные системы обнаружения аномалий минимизируют не только ложноположительные, но и ложноотрицательные срабатывания, тем самым улучшая полноту. Применение гибридных трансформеров, адаптивно обучаемых на основе метода обучения с подкреплением *Windows DTQN*, для сред облачных вычислений, где высокая надежность и точность имеют решающее значение, является наиболее рациональным решением.

Снижение значения уровня ложных срабатываний в системах обнаружения аномалий на основе ИИ повышает значение уровня безопасности данных в системах, использующих облачные вычисления. Результаты показывают,

что применение гибридных трансформеров в сочетании с методом обучения с подкреплением для решения данной задачи значительно превосходят традиционные методы МО.

Список литературы

1. Фурманчук, Ю.А. Облачные, туманные и граничные вычисления в Интернете вещей / Ю.А. Фурманчук, А.Л. Миронов // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Майский, 13–15 марта 2024 года. – Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 113–114.
2. Егоян, Р.А. Идентификация клиентов в современной бизнес-среде: достижения и перспективы с использованием искусственного интеллекта / Р.А. Егоян // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 5(113). – С. 26–32.
3. Татарникова, Т.М. Обнаружение атак в сетях интернета вещей методами машинного обучения / Т.М. Татарникова, П.Ю. Богданов // Информационно-управляющие системы. – 2021. – № 6(115). – С. 42–52.
4. Миронова, А.О. Применение методики оценки угроз безопасности информации / А.О. Миронова, Ю.Ю. Гончаренко, А.С. Гоголь, А.Н. Фролова // Энергетические установки и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 71–75.
5. Косов, Н.А. Анализ методов машинного обучения для детектирования аномалий в сетевом трафике / Н.А. Косов, А.Д. Малько, Д.Д. Стародубова, Р.Д. Стародубов // Цифровизация образования: теоретические и прикладные исследования современной науки: Материалы XXVII Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Ростов-на-Дону, 25 января 2021 года. Ч. 2. – Ростов-на-Дону : Южный университет (ИУБиП), ООО Издательство ВВМ, 2021. – С. 33–37.
6. Васильев, В.И. Обеспечение информационной безопасности киберфизических объектов на основе прогнозирования и обнаружения аномалий их состояния / В.И. Васильев, А.М. Вульфин, В.Е. Гвоздев [и др.] // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 6. – С. 90–119.
7. Фролов, А.В. Защита облачных корпоративных данных / А.В. Фролов, Ю.В. Дымченко, Е.А. Верещагина // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2023. – № 3. – С. 37–40.
8. Жигулин, Н.Д. Проблемы безопасности облачных вычислений / Н.Д. Жигулин, А.Г. Спесивков // Современные информационные технологии и информационная безопасность: Сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 17 мая 2022 года. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 72–76.
9. Медведев, А.А. Задача распознавания аномалий в данных: обзор перспективных методов решения / А.А. Медведев // Образование в России и актуальные вопросы современной науки: сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 25–26 мая 2021 года. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 160–163.
10. Григорьева, Н.М. О повышении интерпретируемости моделей искусственного интеллекта для решения задач обнаружения вторжений и аномалий / Н.М. Григорьева, А.С. Петренко, Р.И. Компаниец // Защита информации. Инсайд. – 2024. – № 3(117). – С. 44–50.
11. Luo, Y. Deep Learning-based Anomaly Detection in Cyber-physical Systems: Progress and Opportunities / Y. Luo, Ya Xiao, L. Cheng, G. Peng, D.D. Yao // ACM Computing Surveys. – 2021. – Vol. 54. – S. 1–36.
12. Гайфулина, Д.А. Анализ моделей глубокого обучения для задач обнаружения сетевых аномалий интернета вещей / Д.А. Гайфулина, И.В. Котенко // Информационно-управляющие системы. – 2021. – № 1(110). – С. 28–37.
13. Oladoyinbo, T. Exploring the Challenges of Artificial Intelligence in Data Integrity and its Influence on Social Dynamics / T. Oladoyinbo, S. Olabanji, O. Olaniyi, O. Adebisi, O. Okunleye, A. Alao // Asian Journal of Advanced Research and Reports. – 2024. – Vol. 18. – S. 1–23.
14. Ичетовкин, Е.А. Анализ атак на компоненты машинного обучения систем обнаружения вторжений / Е.А. Ичетовкин, И.В. Котенко // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): Сборник научных статей. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция, Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 марта 2023 года.

- Т. 1. – Санкт-Петербург : СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. – С. 600–604.
15. Есипов, Д.А. Метод обнаружения инцидентов информационной безопасности по аномалиям в биометрических поведенческих чертах пользователя / Д.А. Есипов, Н. Асланова, Е.Е. Шабала [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2022. – Т. 22. – № 4. – С. 760–768.
16. Красов, А.В. Метод обнаружения сетевой стеганографии на основе машинного обучения / А.В. Красов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 3. – С. 100–108.
17. Aldoseri, A. Re-Thinking Data Strategy and Integration for Artificial Intelligence: Concepts, Opportunities, and Challenges / A. Aldoseri, K. Al-Khalifa, A.M.S. Hamouda // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – S. 7082.
18. Ntroukas, M. T-TAME: Trainable Attention Mechanism for Explaining Convolutional Networks and Vision Transformers / M. Ntroukas, N. Gkalelis, V. Mezaris // IEEE Access. – 2024. – S. 1–1.
19. Scarino, B. A kernel-driven BRDF model to inform satellite-derived visible anvil cloud detection / B. Scarino, K. Bedka, R. Bhatt, K. Khlopenkov, D.R. Doelling, W.L. Jr. // Atmospheric Measurement Techniques. – 2020. – Vol. 13. – S. 5491–5511.
20. Осипова, Т.А. Применение алгоритмов машинного обучения к задаче выявления мошенничества при использовании пластиковых карт / Т.А. Осипова, К.С. Зайцев, В.О. Биферт // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9. – № 8. – С. 23–29.
21. Zioviris, G. An intelligent sequential fraud detection model based on deep learning / G. Zioviris, K. Kolomvatsos, G. Stamoulis // The Journal of Supercomputing. – 2024. – Vol. 80. – S. 1–24.
22. Wang, Z. Windows deep transformer Q-networks: an extended variance reduction architecture for partially observable reinforcement learning / Z. Wang, B. Wang, H. Dou, Z. Liu // Applied Intelligence. – 2024. – Vol. 55. – S. 1–10.

References

1. Furmanchuk, YU.A. Oblachnyye, tumannye i granichnyye vychisleniya v Internetе veshchey / YU.A. Furmanchuk, A.L. Mironov // Gorinskiye chteniya. Innovatsionnyye resheniya dlya APK: Materialy VI Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii, Mayskiy, 13–15 marta 2024 goda. – Mayskiy : FGBOU VO Belgorodskiy GAU, 2024. – S. 113–114.
2. Yegoyan, R.A. Identifikatsiya kliyentov v sovremennoy biznes-srede: dostizheniya i perspektivy s ispol'zovaniyem iskusstvennogo intellekta / R.A. Yegoyan // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2024. – № 5(113). – S. 26–32.
3. Tatarnikova, T.M. Obnaruzheniye atak v setyakh interneta veshchey metodami mashinnogo obucheniya / T.M. Tatarnikova, P.YU. Bogdanov // Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy. – 2021. – № 6(115). – S. 42–52.
4. Mironova, A.O. Primeneniye metodiki otsenki ugroz bezopasnosti informatsii / A.O. Mironova, YU.YU. Goncharenko, A.S. Gogol', A.N. Frolova // Energeticheskiye ustanovki i tekhnologii. – 2021. – Т. 7. – № 4. – S. 71–75.
5. Kosov, N.A. Analiz metodov mashinnogo obucheniya dlya detektirovaniya anomalii v setevom trafike / N.A. Kosov, A.D. Mal'ko, D.D. Starodubova, R.D. Starodubov // Tsifrovizatsiya obrazovaniya: teoreticheskiye i prikladnyye issledovaniya sovremennoy nauki: Materialy XXVII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh, Rostov-na-Donu, 25 yanvarya 2021 goda. CH. 2. – Rostov-na-Donu : Yuzhnyy universitet (IUBiP), OOO Izdatel'stvo VVM, 2021. – S. 33–37.
6. Vasil'yev, V.I. Obespecheniye informatsionnoy bezopasnosti kiberfizicheskikh ob'yektov na osnove prognozirovaniya i obnaruzheniya anomalii ikh sostoyaniya / V.I. Vasil'yev, A.M. Vul'fin, V.Ye. Gvozdev [i dr.] // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. – 2021. – № 6. – S. 90–119.
7. Frolov, A.V. Zashchita oblachnykh korporativnykh dannykh / A.V. Frolov, YU.V. Dymchenko, Ye.A. Vereshchagina // Promyshlennyye ASU i kontrolyer. – 2023. – № 3. – S. 37–40.
8. Zhigulin, N.D. Problemy bezopasnosti oblachnykh vychisleniy / N.D. Zhigulin, A.G. Spevakov // Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i informatsionnaya bezopasnost': Sbornik

nauchnykh statey Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Kursk, 17 maya 2022 goda. – Kursk : Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet, 2022. – S. 72–76.

9. Medvedev, A.A. Zadacha raspoznavaniya anomalii v dannykh: obzor perspektivnykh metodov resheniya / A.A. Medvedev // Obrazovaniye v Rossii i aktual'nyye voprosy sovremennoy nauki: sbornik statey IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 25–26 maya 2021 goda. – Penza : Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. – S. 160–163.

10. Grigor'yeva, N.M. O povyshenii interpretiruyemosti modeley iskusstvennogo intellekta dlya resheniya zadach obnaruzheniya vtorzheniy i anomalii / N.M. Grigor'yeva, A.S. Petrenko, R.I. Kompaniyets // Zashchita informatsii. Insayd. – 2024. – № 3(117). – S. 44–50.

12. Gayfulina, D.A. Analiz modeley glubokogo obucheniya dlya zadach obnaruzheniya setevykh anomalii interneta veshchey / D.A. Gayfulina, I.V. Kotenko // Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy. – 2021. – № 1(110). – S. 28–37.

14. Ichetovkin, Ye.A. Analiz atak na komponenty mashinnogo obucheniya sistem obnaruzheniya vtorzheniy / Ye.A. Ichetovkin, I.V. Kotenko // Aktual'nyye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii (APINO 2023): Sbornik nauchnykh statey. XII Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya, Sankt-Peterburg, 28 fevralya – 01 marta 2023 goda. T. 1. – Sankt-Peterburg : SPbGUT im. prof. M.A. Bonch-Bruyevicha, 2023. – S. 600–604.

15. Yesipov, D.A. Metod obnaruzheniya intsidentov informatsionnoy bezopasnosti po anomaliiyam v biometricheskikh povedencheskikh chertakh pol'zovatelya / D.A. Yesipov, N. Aslanova, Ye.Ye. Shabala [i dr.] // Nauchno-tehnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. – 2022. – T. 22. – № 4. – S. 760–768.

16. Krasov, A.V. Metod obnaruzheniya setevoy steganografii na osnove mashinnogo obucheniya / A.V. Krasov // Sovremennaya nauka: aktual'nyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskkiye nauki. – 2022. – № 3. – S. 100–108.

20. Osipova, T.A. Primeneniye algoritmov mashinnogo obucheniya k zadache vyyavleniya moshennichestva pri ispol'zovanii plastikovykh kart / T.A. Osipova, K.S. Zaytsev, V.O. Bifert // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – T. 9. – № 8. – S. 23–29.

© В.М. Бурыгин, В.Н. Волкогонов, 2025

УДК 004.056

Т.А. КОВАЛЕНКО, А.Г. СОЛОДОВ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Ключевые слова: интерфейс; мотивация; пользовательский интерфейс; принципы проектирования; цифровой продукт.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос проектирования интерфейса. Цель исследования – понять вопрос ориентированности пользовательского интерфейса и его работу. Задача – исследовать принципы, которые необходимо соблюдать при проектировании интерфейса, а также его влияние на работу программного обеспечения. Методом исследования выступило анкетирование студентов. Результаты выражены в таблице и выводах.

Вопрос проектирования интерфейса сложный и актуальный. Посмотрите, как много цифровых продуктов на рынке, которые не пользуются спросом. Возникает вопрос, а почему? Один из ответов кроется в том, что проектирование не стало фундаментальной и равноправной частью планирования продукта и его разработки.

Главный вопрос проектирования – это ориентирование на человека. Понимать его потребности, желания, мотивацию для использования продукта. Продукт должен учитывать точку зрения пользователя, а значит, быть желаемым и практичным, а еще экономически оправданным и технически приемлемым. Если проанализировать работу известных брендов, таких как «Apple», мы увидим, что они ориентируются на потребителя, учитывая все мелкие нюансы работы пользовательского интерфейса.

Для того чтобы продукт был востребован, необходимо учитывать принципы проектирования пользовательского интерфейса. Основной принцип проектирования – это обмен информацией. Такие принципы проектирования обмена представляют собой общеприменимые правила, которые решают вопросы поведения, формы и

наполнения. Они содействуют проектированию поведения продукта, поддерживающего потребности в целях пользователей, создают положительные впечатления от проектируемого продукта. Это набор правил, основанных на наших ценностях как проектировщиков и нашем опыте. В основе лежит уверенность в том, что технология должна служить интеллекту и воображению, а не наоборот. Опыт взаимодействия человека с технологией должен структурироваться в соответствии с его способностями к восприятию и познанию.

Принципы работают на нескольких уровнях детализации: от общей практики проектирования взаимодействия до конкретных подробностей интерфейса. Границы между этими категориями размыты. Сами принципы можно условно разделить на следующие категории:

- концептуальные принципы помогают определить, как должен выглядеть цифровой продукт и как он вписывается в широкий контекст использования, необходимый пользователям;

- поведенческие принципы описывают, как продукт должен вести себя (в общем и конкретных контекстах);

- принципы интерфейсного уровня описывают эффективные стратегии организации, навигации, передачи информации и поведения.

Большинство принципов проектирования взаимодействия и визуализации интерфейса имеет кросс-платформенную природу. Некоторые платформы, такие как мобильные устройства, встроенные системы, требуют особого внимания из-за ограничений размера экрана, способа управления и контекста использования.

Одна из целей, которым служат принципы проектирования, – это оптимизация опыта пользователя во время обмена информацией с продуктом, что означает минимизацию работы.

Распространенной и общепринятой формой

проектирования являются шаблоны, которые представляют собой средство для сохранения полезных решений из области проектирования и их обобщения с целью решения аналогичных задач. Эта работа по формализации знаний проектировщиков и сохранению удачных решений служит следующим целям:

- сокращению времени проектирования и объема работы в новых проектах;
- повышению качества решений;
- упрощению обмена информацией между проектировщиками и разработчиками;
- повышению профессионального уровня проектировщика.

Шаблоны представляют оптимальное взаимодействие для пользователя и класса действий, для которых они предназначены.

Шаблоны проектирования взаимодействия классифицируются как иерархическая структура, разделяясь по уровням: от системного до отдельных виджетов интерфейса. Шаблоны могут применяться в различных уровнях организации работы.

1. Стилиевые шаблоны применяются на концептуальном уровне и помогают определить общее кредо продукта в отношении пользователя.

2. Структурные шаблоны решают задачи, относящиеся к размещению информации и фундаментальных элементов на экране.

3. Поведенческие шаблоны решают спектр задач, связанных с конкретным взаимодействием с функциональными или информационными элементами.

Формирование внутреннего каталога шаблонов – одна из сторон обучения проектировщика обмену информацией.

Рассмотрим некоторые из принципов формирования приложения для создания интерфейса.

1. Компьютер выполняет работу, а человек думает.

Идеальное разделение труда в цифровую эпоху вполне очевидно: компьютер должен выполнять работу, а человек должен думать. Человек на самом деле не нуждается в помощи по части мышления. По способности выявлять шаблоны и творчески решать сложные задачи мы пока не имеем конкурентов в мире микросхем. Нам нужна помощь в работе по управлению информацией в таких операциях, как выборка, анализ, организация и визуальное представление информации. С принятием решений на ос-

нове этой информации лучше всего справляются люди.

2. Если пользователь считает нужным выполнить действие, то приложение должно его действие запомнить.

Каждый раз, когда ваше приложение оказывается перед выбором, особенно когда выбор предлагается сделать пользователю, приложение должно запоминать информацию между запусками. Вместо выбора жестко запрограммированного значения по умолчанию приложение может использовать предыдущую настройку. Вместо того чтобы заставлять пользователя выбирать, приложение должно само выбрать значение, которое пользователь уже выбрал в последний раз и предоставить ему возможность изменить его, если предположение было ошибочно.

3. Решение по выбору технической платформы лучше принимать при участии проектировщиков взаимодействия.

У продуктов имеется способ представиться пользователям. Платформа и стиль представления тесно связаны: разные аппаратные платформы способствуют разным поведенческим позициям. Приложение социальной сети, работающее на смартфоне, должно поддерживать другие виды взаимодействия с пользователем и уровни взаимодействия, чем приложение со страничным макетом, работающее на настольном компьютере с большим экраном.

4. Оптимизируйте монопольные приложения для полноэкранного режима.

Приложение должно поддерживать изменение размеров и нормально работать в других экранных конфигурациях, но интерфейс должен быть оптимизирован для полноэкранного использования.

5. Монопольные интерфейсы должны придерживаться консервативного визуального оформления.

Пользователь долгое время видит монопольное приложение, поэтому необходимо постараться приглушить цвета и текстуры в визуальном оформлении. Палитра цветов должна быть консервативна.

6. Построение временных приложений учитывает такие составляющие, как простота, наглядность и понятность.

Продукт с временным стилем представления приходит и уходит, представляя одну функцию с ограниченным набором сопровождающих элементов управления. Приложение

Таблица 1. Результаты опроса студентов

Вопрос		Результат опроса
Сталкивались ли вы с неудобным пользовательским интерфейсом в различных жизненных ситуациях?	Да	91
	Нет	1
Сталкиваясь с неудобным пользовательским интерфейсом при работе с приложениями, вы переходили на другой аналог?	Да	87
	Нет	5
Вы создавали свое программное обеспечение (ПО)?	Да	50
	Нет	42
При создании своего ПО, столкнувшись со сложным интерфейсом, находили более удобный аналог?	Да	35
	Нет	15

активизируется по мере необходимости, появляется, выполняет свою работу, а потом исчезает, позволяя пользователю продолжить нормальную деятельность. Приложение не задерживается на экране продолжительное время, пользователь не получает возможность изучить его. Элементы управления должны представляться четко и однозначно без риска ошибки или путаницы, а сам интерфейс должен быть понятным и практичным.

Чтобы понять, насколько вопрос пользовательского интерфейса является важным для создания приложений, студентам потока «Информатика и вычислительная техника» было предложено заполнить анкету, всего было опрошено 92 студента. Результаты приведены в табл. 1.

Не все опрошиваемые работали с созданием ПО. Как мы видим, студенты, обучаясь уже на третьем курсе, еще не имеют практи-

ки создания программного обеспечения. Из 92 человек 50 студентов создавали ПО, что составляет 54 %. На основании этого анкетирования мы видим, что вопрос создания и использования пользовательского интерфейса актуален.

Проанализировав отношение пользователей к работе интерфейса, можно сделать следующие выводы. Если придерживаться хотя бы перечисленных принципов в проектировании интерфейса, то продукты, которые выпускаются, смогут удовлетворить потребности пользователя. При проектировании не нужно пренебрегать интерфейсом, ведь неудобные элементы управления и появляющиеся в неподходящий момент диалоговые окна раздражают пользователя. Нужно обязательно прорабатывать все подробности и убедиться в том, что взаимодействие с продуктом соответствует целям, задачам и пожеланиям пользователя.

Список литературы

1. Коваленко, Т.А. Проектирование пользовательского интерфейса : Учебник / Т.А. Коваленко, А.Л. Золкин. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – 154 с.
2. Коваленко, Т.А. Влияние интерфейса на восприятие программного продукта / Т.А. Коваленко // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. науч. тр. XXIII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2019. – С. 104–107.
3. Разработка пользовательского интерфейса // Мандел Тео 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lib.rucont.ru/efd/199448/info/1fnfo>.
4. Батенькина, О.В. Дизайн пользовательского интерфейса информационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=24831306>.
5. Джеф, Раскин. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / Раскин Джеф. – М., 2003. – 125 с.

References

1. Kovalenko, T.A. *Proyektirovaniye pol'zovatel'skogo interfeysa : Uchebnik* / T.A. Kovalenko, A.L. Zolkin. – Samara : Povolzhskiy gosudarstvennyy universitet telekommunikatsiy i informatiki, 2024. – 154 s.
2. Kovalenko, T.A. *Vliyaniye interfeysa na vospriyatiye programmnoy produkta* / T.A. Kovalenko // *Informatsionno-vychislitel'nyye tekhnologii i ikh prilozheniya: sb. nauch. tr. XXIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Penza, 2019.* – S. 104–107.
3. *Razrabotka pol'zovatel'skogo interfeysa* // Mandel Teo 2007 [Electronic resource]. – Access mode : [https://lib.rucont.ru/efd/199448/info /lfnfo](https://lib.rucont.ru/efd/199448/info/lfnfo).
4. Baten'kina, O.V. *Dizayn pol'zovatel'skogo interfeysa informatsionnykh sistem* [Electronic resource]. – Access mode : <https://elibrary.ru/item.asp?id=24831306>.
5. Dzhef, Raskin. *Interfeys: novyye napravleniya v proyektirovanii komp'yuternykh sistem* / Raskin Dzhef. – M., 2003. –125 s.

© Т.А. Коваленко, А.Г. Солодов, 2025

УДК 004.946

С.Е. КУЗЕНКО, Л.Р. ВАХИТОВА, В.В. ГАЛКИНА

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель; виртуальный тренажер; комплектное распределительное устройство; модель; обучение; процесс; технологии.

Аннотация. В настоящее время виртуальные тренажеры становятся все более популярными инструментами обучения, которые позволяют получать знания в интерактивной форме.

Одним из перспективных направлений применения виртуальных технологий является создание виртуальных тренажеров, которые позволяют моделировать реальные ситуации и процессы, обеспечивая безопасную и эффективную среду для обучения. Авторами предложен метод автоматизированного построения виртуальных тренажеров для изучения низковольтных и высоковольтных электроустановок, которые открывают новые возможности для профессиональной подготовки специалистов, позволяя им осваивать принципы работы, технического обслуживания, минимизируя риски повреждения дорогостоящего оборудования и травмирования персонала. Такой подход предоставляет возможность многократно повторять учебные ситуации и анализировать ошибки.

Обоснована необходимость использования и разработки виртуального тренажера, способствующего эффективному обучению и уменьшению числа ошибок, допускаемых при ремонте асинхронных электродвигателей и ячеек комплектного распределительного устройства, а также сокращению расходов, возникающих вследствие данных ошибок.

Целью работы являются обоснование и разработка виртуального тренажера для обучения выполнения сборки, разборки и подключения трехфазного асинхронного электродвигателя и ячеек комплектного распределительного устройства.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи: проанализирован рынок виртуальной реальности, произведены поиск и анализ существующих аналогов программного продукта, осуществлен выбор средств разработки, создан виртуальный тренажер.

Методы: анализ существующих инструментов разработки и моделирование.

Гипотезой является данный виртуальный симулятор, предназначенный для обучения и повышения квалификации новых и действующих работников. Разработанный виртуальный симулятор можно адаптировать к скорости усвоения информации и уровням понимания и освоения материала. Созданная программа может быть использована для прогнозирования возможных проблем эксплуатации и аварийных ситуаций во время эксплуатации низковольтных и высоковольтных электроустановок.

Сегодня рынок иммерсивных технологий является самым быстрорастущим в мире, открывая новые горизонты для пользователей и предпринимателей. Размер мирового рынка виртуальной реальности оценивается почти в \$40 млрд в 2024 г. [6].

В обучении все чаще и чаще используют виртуальные тренажеры. Их популярность можно объяснить несколькими факторами. Прежде всего они обеспечивают безопасность при изучении и отработке сложных навыков, где ошибки могут привести к катастрофическим последствиям. Пользователи могут обучаться без страха навредить себе или другим людям. Поэтому виртуальный тренажер активно внедряется в производственную и обучающую отрасли.

Создание виртуального тренажера – задача, требующая комплексного подхода и исполь-



Рис. 1. Макет проекта ячейки комплектного распределительного устройства

зования специализированного программного обеспечения. Перед началом работы крайне важно определиться с интегрированной средой разработки. Разработка виртуального тренажера включает в себя несколько ключевых аспектов, таких как создание графического интерфейса, моделирование физических процессов и взаимодействие с пользователем, каждый из которых требует отдельного внимания. Для их реализации были выбраны следующие средства разработки: *Unity*, *Blender*, *SQLite*.

Создание виртуального тренажера начинается с разработки трехмерной модели комплектного распределительного устройства и трехфазного асинхронного электродвигателя. *Blender* поддерживает физические симуляции, такие как движение, столкновения и взаимодействия объектов. Модели и анимации, созданные в программе, можно экспортировать в популярные игровые движки, такие как *Unity*, что делает его подходящим инструментом для работы [1–2].

Unity – это мощный игровой движок, используемый для создания различных интерактивных и виртуальных приложений. Он поддерживает широкий спектр языков программирования и предлагает богатый выбор инструментов для создания графики, физики и анимации. Кроме того, он легко интегрируется с различными устройствами ввода-вывода, такими как джойстики и шлемы виртуальной реальности.

Наконец, необходимо предусмотреть систему управления базами данных для хранения

информации об инструкциях, эксплуатации и результатах обучения. С помощью базы данных можно эффективно управлять учетными записями пользователей и сохранять результаты тестов.

При помощи методологии *IDEF0* были составлены контекстная и детализирующая диаграммы общего бизнес-процесса.

Декомпозиция модели *IDEF0* процесса состоит из трех функций: прием документов, организация обучения, выдача документов о повышении квалификации.

В данном бизнес-процессе важной ступенью является проведение инструктажа по технике безопасности, слушатели получают информацию о потенциальных рисках, связанных с работой с электрическим оборудованием, а также изучают основные правила безопасности, которые помогут предотвратить несчастные случаи и травмы.

Следующим этапом является обучение с помощью виртуального тренажера. Эта инновационная методика позволяет обучаемым в безопасной и контролируемой среде моделировать различные ситуации, с которыми они могут столкнуться при работе с электрическим оборудованием. Виртуальный тренажер предоставляет возможность потренироваться в принятии решений, увидеть последствия своих действий, что значительно увеличивает уровень усвоения материала и снижает риски во время реальной работы.

Далее идет этап обучения работе с оборудованием под руководством специалиста. Об-

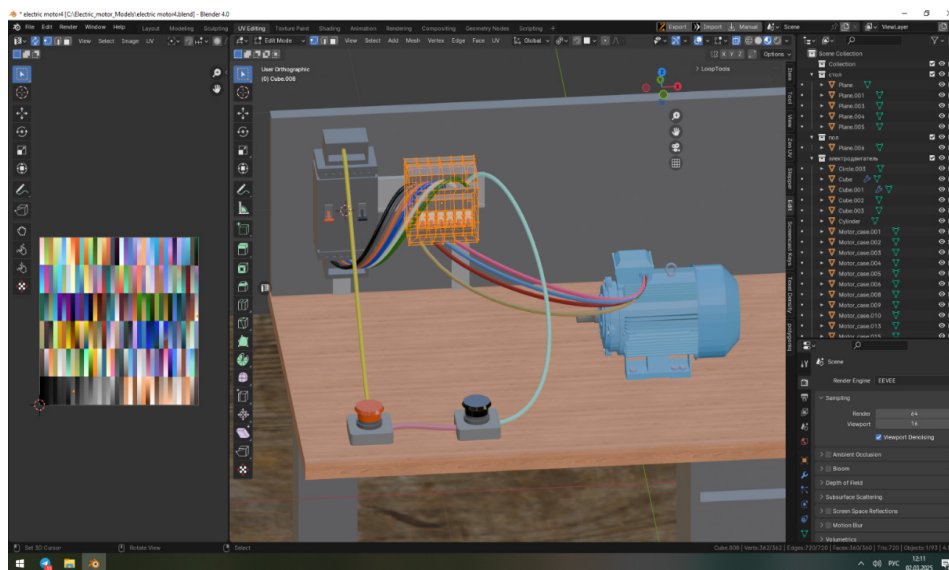


Рис. 2. Макет трехмерной модели электродвигателя

учаемые получают практические навыки, учатся правильно обслуживать и эксплуатировать электрические установки, а также понимать их конструктивные особенности и проблемы, которые могут возникнуть в процессе работы. Весь процесс обучения завершается итоговой проверкой знаний и навыков, что позволяет оценить степень усвоения материала и готовность специалистов к безопасной работе с электрооборудованием.

Внешний вид трехмерных моделей ячейки комплектного распределительного устройства и трехфазного асинхронного электродвигателя представлен на рис. 1 и 2.

Для интеграции результатов виртуального тренажера в веб-сайт можно использовать *API* (интерфейс прикладного программирования), который позволит отправлять данные о результатах прохождения виртуального тренажера и прогрессе пользователя непосредственно на сервер веб-сайта. Сначала необходимо разработать функционал в виртуальном тренажере,

который будет собирать и обрабатывать результаты, такие как время выполнения, фамилию, имя и отчество, дату. После этого данные могут быть отправлены в формате *JSON* через *HTTP*-запросы к веб-сайту. На стороне сервера нужно создать обработчик, который будет принимать эти данные, обрабатывать их и сохранять в базе данных [3–5]. Затем можно использовать эти результаты для отображения на личной странице пользователя.

Обоснована необходимость использования и разработки виртуального тренажера, способствующего стандартизации обучения и уменьшению числа ошибок, допускаемых при подготовке к ремонту комплектного распределительного устройства и к профилактическому осмотру асинхронного электродвигателя, а также сокращению расходов, возникающих вследствие данных ошибок.

Проанализированы рынок виртуальной реальности и существующие бизнес-процессы, разработан виртуальный тренажер.

Список литературы

1. Левина, Т.М. Разработка виртуального выставочного зала электронных вычислительных машин / Т.М. Левина, М.А. Алехин // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2024. – № 4(29). – С. 138–144.
2. Радионов, А.С. Программный комплекс обучения на основе технологий дополненной реальности / А.С. Радионов, Ю.А. Жаринов, Е.В. Старцева // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2021. – № 2. – С. 92–99.
3. Баширов, М.Г. Интеллектуальная система диагностики электроэнергетических комплек-

сов / М.Г. Баширов, Д.Д. Голованов, А.Р. Файзуллина, И.У. Шарафутдинов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024666429, 12.07.2024. Заявка № 2024665425 от 02.07.2024.

4. Голованов, Д.Д. Разработка системы диагностики технического состояния асинхронного электродвигателя / Д.Д. Голованов, А.Р. Файзуллина, И.У. Шарафутдинов // Молодые исследователи – регионам: материалы Международной научной конференции. – Вологда, 2024. – С. 1094–1096.

5. Кузенко, С.Е. Использование технологий искусственного интеллекта в образовании / С.Е. Кузенко, А.А. Миглинайте // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2024: материалы Международной научно-методической конференции. – Салават, 2024. – С. 577–580.

6. Сегментация рынка виртуальной реальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.databridgemarketresearch.com/ru>.

References

1. Levina, T.M. Razrabotka virtual'nogo vystavochnogo zala elektronnykh vychislitel'nykh mashin / T.M. Levina, M.A. Alekhin // Informatsionnyye tekhnologii. Problemy i resheniya. – 2024. – № 4(29). – S. 138–144.

2. Radionov, A.S. Programmnyy kompleks obucheniya na osnove tekhnologiy dopolnennoy real'nosti / A.S. Radionov, YU.A. Zharinov, Ye.V. Startseva // Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye komplekсы i sistemy. – 2021. – № 2. – S. 92–99.

3. Bashirov, M.G. Intel'ktual'naya sistema diagnostiki elektroenergeticheskikh kompleksov / M.G. Bashirov, D.D. Golovanov, A.R. Fayzullina, I.U. Sharafutdinov // Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2024666429, 12.07.2024. Zayavka № 2024665425 ot 02.07.2024.

4. Golovanov, D.D. Razrabotka sistemy diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya asinkhronnogo elektrodvigatelya / D.D. Golovanov, A.R. Fayzullina, I.U. Sharafutdinov // Molodyye issledovateli – regionam: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. – Vologda, 2024. – S. 1094–1096.

5. Kuzenko, S.Ye. Ispol'zovaniye tekhnologiy iskusstvennogo intellekta v obrazovanii / S.Ye. Kuzenko, A.A. Miglinayte // Integratsiya nauki i obrazovaniya v vuzakh neftegazovogo profilya – 2024: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. – Salavat, 2024. – S. 577–580.

6. Segmentatsiya rynka virtual'noy real'nosti [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.databridgemarketresearch.com/ru>.

© С.Е. Кузенко, Л.Р. Вахитова, В.В. Галкина, 2025

УДК 004.94

С.П. ЛЫСЫЙ¹, О.В. СНЕЖКИНА¹, А.М. ВОЛКОВ²¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»;²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ УЗЛОВ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Ключевые слова: деталь; компонент; механизм; параллельность; соосность; технический узел; установка.

Аннотация. Цель данной статьи заключается в повышении уровня практической подготовки студентов при разработке 3D-моделей технических узлов в графическом редакторе Компас-3D на занятиях по инженерной и компьютерной графике. Основные задачи исследования: освоить практические приемы работы с программой; разработать 3D-модели изделий в Компас-3D по исходным чертежам и выполнить сборку технических узлов; проанализировать ошибки, допущенные при выполнении графических заданий.

В работе было выдвинуто предположение о том, что в рамках проведения занятий студенты смогут повысить уровень своей практической подготовки, проанализировать графические работы других участников, минимизировать ошибки при разработке 3D-моделей технических узлов. При выполнении исследования применялись теоретические методы, основанные на принципах классической механики, математического анализа, синтеза, моделирования и др. По результатам проведения занятий студентами были освоены практические приемы работы с графическим редактором, по исходным чертежам разработаны 3D-модели изделий в Компас-3D и выполнена сборка технических узлов, проанализированы ошибки, допущенные при выполнении заданий. Анализ гистограммы результатов проведения практических занятий показал, что при разработке 3D-моделей технических узлов № 1–3 усредненный показатель качества выполнения заданий разной степени сложности повысился с 82 до 94 %.

На сегодняшний день создание 3D-моделей различных деталей, компонентов, сборочных единиц, корпусов, узлов, целостных конструкций и других сложных технических элементов активно используется в машиностроительной, железнодорожной, нефтегазовой и других отраслях.

Технический узел – это часть машины, механизма или установки, состоящая из нескольких более простых деталей.

Для выполнения графических работ нами была выбрана программа Компас-3D, обладающая современным понятным интерфейсом, достаточным функционалом и быстродействием.

При разработке 3D-модели технического узла № 1 (рис. 1) студентами были добавлены в сборку три оригинальных и шесть стандартных деталей. Выполнены операции «Соосность», «Параллельность» и «Совпадение» [1–6].

Для разработки 3D-модели технического узла № 2 (рис. 2) студентами были добавлены в сборку пять оригинальных и две стандартные детали. Выполнены операции «Соосность», «Параллельность» и «Совпадение».

При разработке 3D-модели технического узла № 3 (рис. 3) студентами были добавлены в сборку семь оригинальных деталей. Выполнены операции «Соосность» и «Совпадение» [1–6].

На рис. 4 приведена гистограмма результатов проведения практических занятий, отражающая усредненный показатель качества выполнения заданий разной степени сложности.

Анализ гистограммы результатов проведения практических занятий по инженерной и

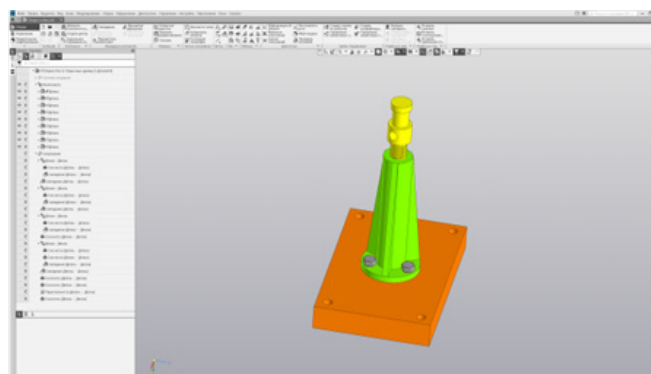


Рис. 1. 3D-модель технического узла № 1

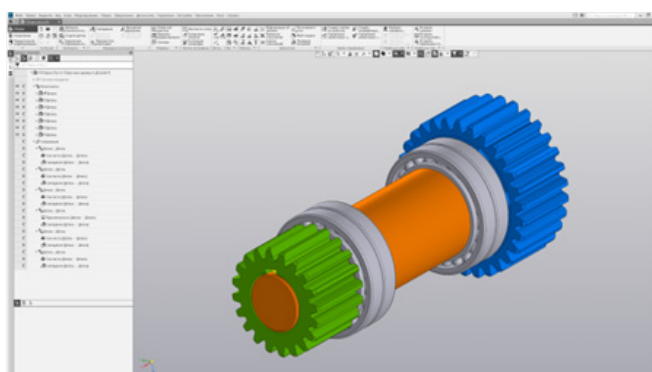


Рис. 2. 3D-модель технического узла № 2

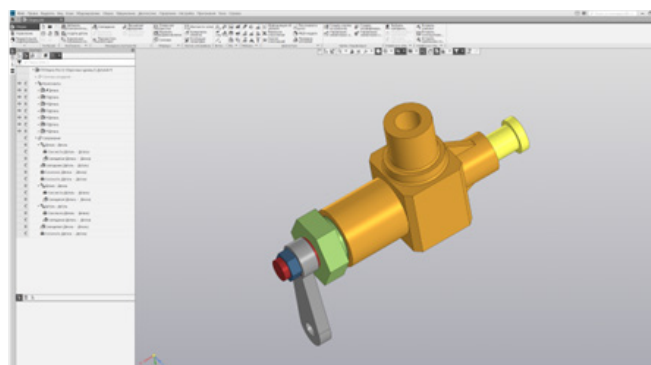


Рис. 2. 3D-модель технического узла № 3

компьютерной графике показал, что при разработке 3D-моделей технических узлов № 1–3 усредненный показатель качества выполнения заданий разной степени сложности повысился с 82 до 94 %. Студенты смогли качественно выполнить графические работы и показать хорошие результаты. Однако в работах при выполнении некоторых сложных операций сборки

студентами были допущены незначительные ошибки, которые привели к снижению данного показателя. Вышеизложенный материал позволит студентам повысить уровень своей практической подготовки, а при постоянной работе в графическом редакторе – улучшить качество разработки 3D-моделей технических узлов.

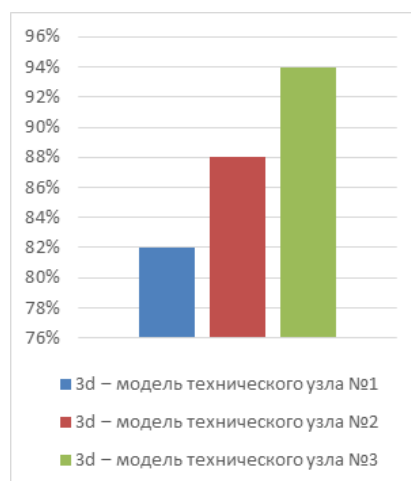


Рис. 4. Гистограмма результатов проведения практических занятий

Список литературы

1. Лысый, С.П. К вопросу о разработке цифровой модели изделия / С.П. Лысый, С.А. Толушов, О.В. Снежкина // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 11(161). – С. 57–60.
2. Власенков, А.Н. Оптимизация конструкций изделий с применением систем автоматической оптимизации / А.Н. Власенков, А.П. Павлов, Д.Ю. Пасечник // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 10(112). – С. 16–21.
3. Лысый, С.П. Разработка 3D-модели катушечного высевающего аппарата для высева семян масличных мелкосеменных культур / С.П. Лысый // Нива Поволжья. – 2024. – № 2(70).
4. Крашенинникова, О.В. Твёрдотельное моделирование каркаса хвостовой части ракеты в cad-системе Компас-3D / О.В. Крашенинникова, В.Г. Сидоров // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 10 (160). – С. 37–41.
5. Швецова, В.В. Особенности применения компьютерной графики в отношении развития и совершенствования базовых приемов начертательной геометрии и инженерной графики / В.В. Швецова // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 9(159). – С. 31–34.
6. Швецова, В.В. Цифровизация научно-методических приемов начертательной геометрии и инженерной графики для решения практических и теоретических задач / В.В. Швецова // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 9(159). – С. 35–38.

References

1. Lysyy, S.P. K voprosu o razrabotke tsifrovoy modeli izdeliya / S.P. Lysyy, S.A. Tolushov, O.V. Snezhkina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 11(161). – S. 57–60.
2. Vlasenkov, A.N. Optimizatsiya konstruktsey izdeliy s primeneniym sistem avtomaticheskoy optimizatsii / A.N. Vlasenkov, A.P. Pavlov, D.YU. Pasechnik // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2020. – № 10(112). – S. 16–21.
3. Lysyy, S.P. Razrabotka 3D-modeli katushechnogo vysevayushchego apparata dlya vyseva semyan maslichnykh melkosemennyykh kul'tur / S.P. Lysyy // Niva Povolzh'ya. – 2024. – № 2(70).
4. Krasheninnikova, O.V. Tverdotel'noye modelirovaniye karkasa khvostovoy chasti rakety v cad-sisteme Kompas-3D / O.V. Krasheninnikova, V.G. Sidorov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 10 (160). – S. 37–41.
5. Shvetsova, V.V. Osobennosti primeneniya komp'yuternoy grafiki v otnoshenii razvitiya

i sovershenstvovaniya bazovykh priyemov nachertatel'noy geometrii i inzhenernoy grafiki / V.V. Shvetsova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 9(159). – S. 31–34.

6. Shvetsova, V.V. Tsifrovizatsiya nauchno-metodicheskikh priyemov nachertatel'noy geometrii i inzhenernoy grafiki dlya resheniya prakticheskikh i teoreticheskikh zadach / V.V. Shvetsova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 9(159). – S. 35–38.

© С.П. Лысый, О.В. Снежкина, А.М. Волков, 2025

УДК 621.833.6;

А.В. ЧИРКИН

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ САТЕЛЛИТОВ МНОГОСАТЕЛЛИТНЫХ ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Ключевые слова: планетарно-цевочные редукторы; циклоидальные передачи.

Аннотация. В статье описывается методика построения профиля сателлитов многосателлитной передачи, построенной по схеме $2K-V$, учитывающая начальное положение эксцентрикового вала. Предложенный подход позволяет описывать все сателлиты одновременно, что упрощает расчет сил.

Введение

Планетарно-цевочные редукторы, также известные как циклоидальные редукторы, представляют собой уникальный тип механических передач, который нашел широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своим выдающимся характеристикам [7]. Эти редукторы используют сателлиты с циклоидальным профилем и обойму с роликами (цевками) для передачи крутящего момента. Форма сателлита обеспечивает многопарность зацепления (описано в работе [5]), что обуславливает ряд достоинств этих редукторов. К ним можно отнести: высокое передаточное число (до 100 в одной ступени), компактность, способность к перегрузкам и точность [2].

Существует множество схем планетарно-цевочных редукторов. В данной статье будем рассматривать схему $2K-V$ по классификации Кудрявцева [3]. Схема изображена на рис. 1. Такая передача состоит из предварительной планетарной ступени, включающей солнечную шестерню (1) и сателлиты (2), а также циклоидальной ступени, включающей эксцентриковые валы (5), сателлит (3), обойму с цевками (4) и выходной вал (6).

Обычно используются передачи, имеющие два [1] или три [6] сателлита. Однако их можно выполнять и с большим числом сателлитов, что позволит увеличить нагрузочную способность. Такие передачи мы обозначим как многосателлитные.

При анализе таких передач возникает вопрос: как построить профиль сателлитов многосателлитной передачи? Традиционно этот вопрос решался за счет того, что фактически рассчитывался один сателлит, а остальные получались за счет его поворота. Однако такой подход неудобен при расчете сил: приходится рассматривать только один сателлит одновременно. Когда сателлитов станет больше, это приведет к усложнению условий равновесия. Поэтому актуален такой подход, который позволит описывать все сателлиты одновременно. Он рассмотрен в этой статье.

Синтез сателлитов многосателлитной передачи

Каждый сателлит находится на своей части эксцентрикового вала – эксцентрик. Рассмотрим получение уравнений профиля сателлита, учитывающих начальное положение эксцентрика. Для этого нужно найти уравнение, описывающее координату центра цевки в системе координат сателлита. Воспользуемся схемой передачи, изображенной на рис. 1. На этой схеме обойма и сателлит передачи представлены их условными центроидами (строго говоря, это не совсем центроиды, так как направление обкатки сателлита и обоймы не соответствует направлению обкатки центроид при $s = -1$, кинематическое отношение, связанное с размерами центроид, согласно которому отношение углов поворота центроид равно отношению радиусов, будет выполняться всегда), 1 – центроида сател-

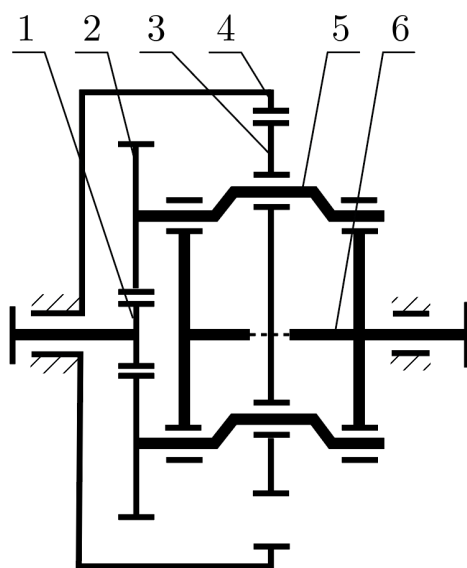


Рис. 1. Планетарно-цевочный редуктор по схеме $2K-V$: 1 – солнечная шестерня; 2 – сателлит эвольвентной ступени; 3 – сателлит циклоидальной ступени; 4 – обойма с цевками; 5 – эксцентрик; 6 – выходной вал

лита, 2 – центроида обоймы (центроиды изображены не в масштабе), 3 – цевка. Сателлит движется поступательно по окружности радиусом e (эксцентриситет передачи) по часовой стрелке, его положение определяется углом поворота $z_p\varphi$, где z_p – передаточное число передачи (число цевок). Обойма, так как сателлит обкатывается по ней, поворачивается на угол $s\varphi$ по часовой стрелке вокруг своего центра. Параметр s определяет направление вращения. Если $s = 1$, то поворот происходит по часовой стрелке, если $s = -1$, то поворот происходит против часовой стрелки. Условимся также, что поворот эксцентрика имеет начальное значение φ_{02} .

Свяжем с элементами передачи системы координат. Всего их три: подвижная система координат сателлита x_2y_2 , неподвижная система координат редуктора x_0y_0 и система координат обоймы x_1y_1 .

Перевод координат из одной системы в другую происходит с помощью матриц перехода A_{ij} , переводящих вектор из системы координат j в систему координат i . Эти матрицы в однородных координатах имеют следующий вид:

$$A_{01} = \begin{pmatrix} \cos(s\varphi) & \sin(s\varphi) & 0 \\ -\sin(s\varphi) & \cos(s\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_{20} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -e \sin(z_p\varphi + \varphi_{02}) \\ 0 & 1 & -e \cos(z_p\varphi + \varphi_{02}) \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Положение центра первой цевки в системе координат x_1y_1 определяется радиус-вектором $r_c^{(1)}$:

$$r_c^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{a_p}{2} \\ 1 \end{pmatrix},$$

где a_p – диаметр окружности, на котором расположены цевки. Переводя вектор в систему координат x_2y_2 , получим $r_c^{(2)}$. Учитывая, что синус – нечетная функция, а косинус – четная, вынесем за тригонометрическую функцию:

$$r_c^{(2)} = A_{20}A_{01}r_c^{(1)} = \begin{pmatrix} \frac{a_p}{2}s \sin(\varphi) - e \sin(z_p\varphi + \varphi_{02}) \\ \frac{a_p}{2}\cos(\varphi) - e \cos(z_p\varphi + \varphi_{02}) \\ 1 \end{pmatrix}.$$

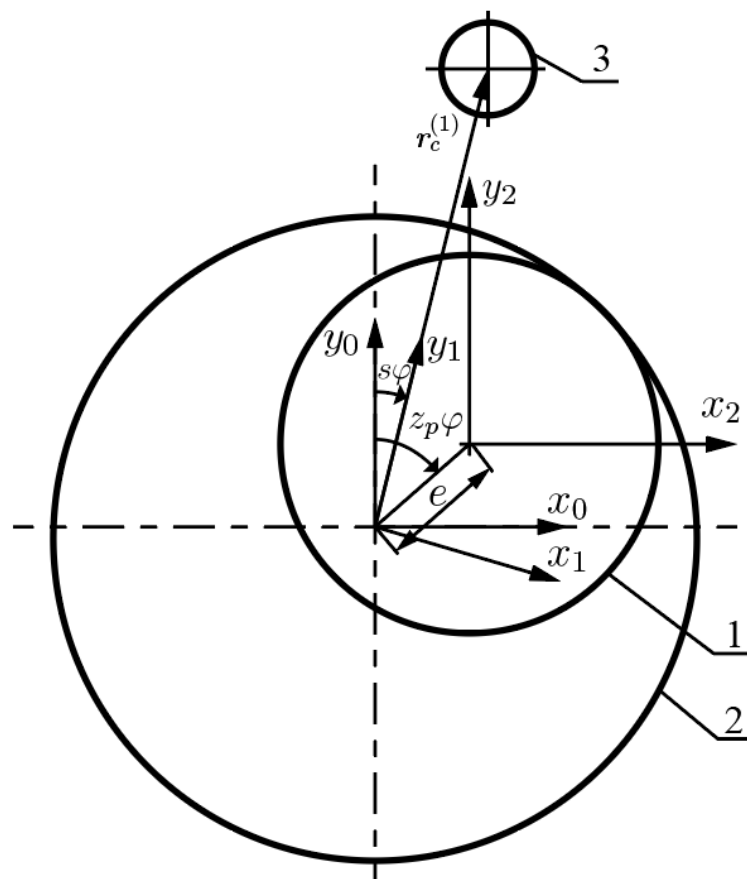


Рис. 2. Схема планетарно-цевочной передачи: 1 – сателлит; 2 – обойма

Тогда вектор C (в декартовой системе координат), описывающий координаты цевки в системе координат сателлита (для упрощения записи далее опустим (1) в верхнем индексе), выражается следующей формулой:

$$C = \begin{pmatrix} C_x \\ C_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a_p}{2} s \sin(t) - e \sin(z_p t + t_{02}) \\ \frac{a_p}{2} \cos(t) - e \cos(z_p t + t_{02}) \end{pmatrix},$$

где t – параметр, задающий точку сателлита, t_{02} – фаза эксцентрика сателлита. Формула для C получена из формулы для $r_c^{(2)}$ заменой φ на t . Это сделано, чтобы различать кинематику передачи и описание сателлита. Точки циклоиды и сателлита в одном положении эксцентрикового вала будут получаться изменением параметра t , а угловое положение эксцентрикового вала и сателлита будет задаваться параметром φ .

Для получения полного профиля сателлита t должен изменяться в пределах от 0 до 2π . Отметим, что при $s = 1$ вектор C описывает эпициклоиду, а при $s = -1$ – гипоциклоиду. Выделим коэффициент укорочения циклоиды λ , учитывая, что $e = a_p \lambda / 2 z_p$:

$$C = \frac{a_p}{2} \begin{pmatrix} s \sin(t + t_{01}) - \frac{\lambda}{z_p} \sin(z_p t + t_{02}) \\ \cos(t + t_{01}) - \frac{\lambda}{z_p} \cos(z_p t + t_{02}) \end{pmatrix}.$$

Чтобы получить точку сателлита, надо точку циклоиды сместить в направлении нормали N к этой циклоиде на расстояние $d_p/2$ [4]. Уравнения нормали имеют следующий вид:

$$N_x = \frac{-C_y}{\sqrt{C_x^2 + C_y^2}},$$

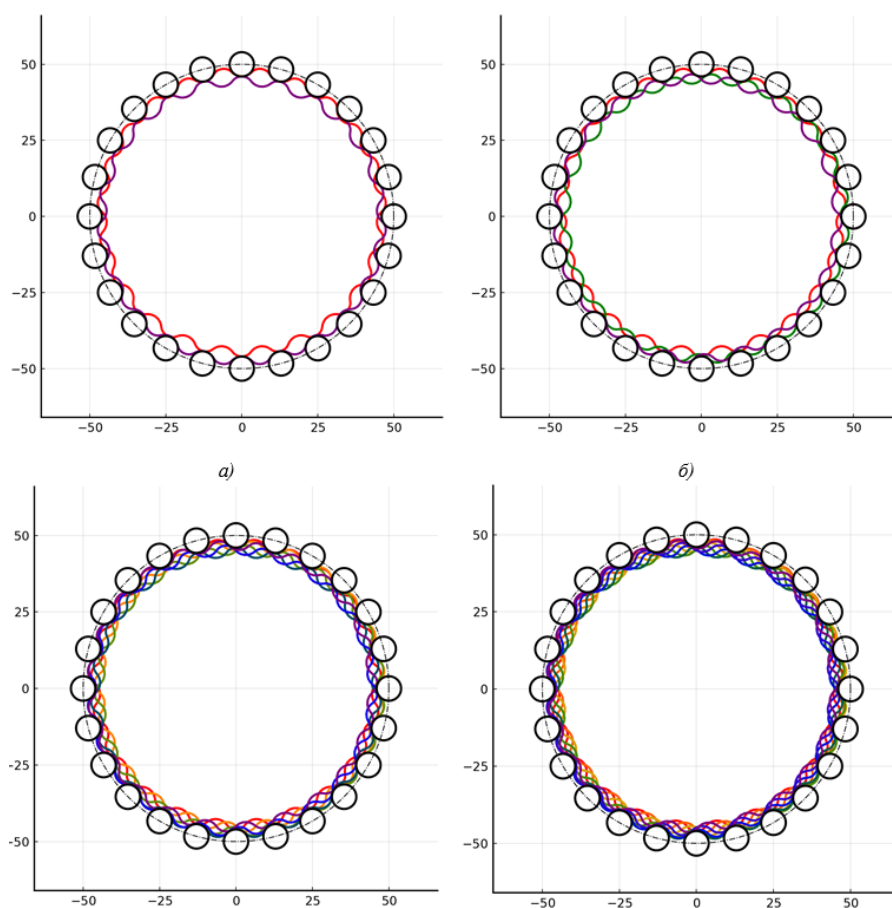


Рис. 3. Сателлиты и цевки планетарно-цевочных передач с двумя (а), тремя (б), четырьмя (в), восемью (г) сателлитами

$$N_y = \frac{C_x}{\sqrt{C_x^2 + C_y^2}},$$

$$\sqrt{C_x^2 + C_y^2} = \frac{a_p}{2} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2s\lambda \cos(z_c t + t_{02})},$$

где $z_c = z_p - s$. Преобразуя N , получим:

$$N = \begin{pmatrix} N_x \\ N_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\sin(t) - \lambda \sin(z_p t + t_{02})}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2s\lambda \cos(z_c t + t_{02})}} \\ -\frac{s \cos(t) + \lambda \cos(z_p t + t_{02})}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2s\lambda \cos(z_c t + t_{02})}} \end{pmatrix}.$$

Точка сателлита описывается уравнением:

$$P = C + \frac{d_p}{2} N.$$

За счет разной начальной фазы эксцентрика можно задавать разные сателлиты. Рассмотрим передачу, в которой z_c сателлитов. Номер сателлита, рассматриваемого в данный момент, обозначим i . Тогда его начальная фаза t_{02i} будет определяться формулой:

$$t_{02i} = \frac{2\pi(i-1)}{z_s}.$$

Для примера возьмем многосателлитные передачи с параметрами $a_p = 100$ мм, $z_p = 24$, $d_p = 8$ мм, $\lambda = 0,7$, $s = 1$. Количество сателлитов будет 2, 3, 6, 8. Используя полученные выше формулы, построим профили сателлитов. Они изображены на рис. 3, каждый сателлит выделен своим цветом. На рисунке также обозначены цевки. Профили сателлитов переведены в систему координат редуктора.

В данной статье была рассмотрена методика построения профилей сателлитов для многосателлитных планетарно-цевочных передач, следуя схеме $2K-V$ по классификации Кудрявцева. Предложенный подход позволяет учитывать начальное положение эксцентрикового вала и описывать все сателлиты одновременно, что значительно упрощает расчет сил.

Разработанные уравнения для профиля сателлитов и нормалей к ним позволяют моделировать кинематику передачи и описы-

вать сателлиты с учетом их взаимного расположения. Это особенно важно при увеличении числа сателлитов, что позволяет повысить нагрузочную способность передачи.

Приведенные примеры профилей сателлитов для передач с различным количеством сателлитов демонстрируют эффективность предложенного метода. Результаты исследования могут быть полезны для дальнейшей оптимизации и разработки планетарно-цевочных редукторов.

Список литературы

1. Ермолаев, М.М. Исследование влияния податливости подшипника на работу планетарно-цевочной передачи / М.М. Ермолаев, Ю.В. Синицына // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 4(721). – С. 15–22.
2. Иванов, А.С. Расчет планетарно-цевочной передачи с учетом упругих деформаций сателлита / А.С. Иванов, М.М. Ермолаев, А.В. Чиркин, Ю.В. Синицына // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2016. – № 5. – С. 464–475.
3. Кудрявцев, В.Н. Планетарные передачи / В.Н. Кудрявцев. – Л. : Машиностроение, 1966. – 308 с.
4. Ivanov, A.S. Load Capacity of Cycloidal Speed Reducer with Plastic Components / A.S. Ivanov, M.M. Ermolaev, A.V. Chirkin // Russian Engineering Research. – 2020. – Vol. 40. – S. 535–541.
5. Li, T. A new tooth profile modification method of cycloidal gears in precision reducers for robots / T. Li [et al.] // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – No. 4. – P. 1266.
6. Pawelski, Z. Properties of a three disc cycloid gear as a result of bench test / Z. Pawelski, Z. Zdziennicki, G. Uszpolewicz // Journal of KONES. – 2018. – Vol. 25. – No. 2. – P. 269–280.
7. Pham, A.D. Rigid precision reducers for machining industrial robots / A.D. Pham, H.J. Ahn // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. – 2021. – Vol. 22. – No. 8. – P. 1469–1486.

References

1. Yermolayev, M.M. Issledovaniye vliyaniya podatlivosti podshipnika na rabotu planetarno-tsevochnoy peredachi / M.M. Yermolayev, YU.V. Sinitsyna // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. – 2020. – № 4(721). – S. 15–22.
2. Ivanov, A.S. Raschet planetarno-tsevochnoy peredachi s uchetom uprugikh deformatsiy satellita / A.S. Ivanov, M.M. Yermolayev, A.V. Chirkin, YU.V. Sinitsyna // Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye. – 2016. – № 5. – S. 464–475.
3. Kudryavtsev, V.N. Planetarnyye peredachi / V.N. Kudryavtsev. – L. : Mashinostroyeniye, 1966. – 308 s.

© А.В. Чиркин, 2025

УДК 621.833.6;

А.В. ЧИРКИН

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

О ПРИМЕНИМОСТИ «ВЫВЕРНУТЫХ» ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ ПЕРЕДАЧ В ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНЫХ РЕДУКТОРАХ

Ключевые слова: планетарно-цевочные редукторы; циклоидальные передачи.

Аннотация. В данной статье рассматривается концепция «вывернутых» циклоидальных передач в планетарно-цевочных редукторах. Такие передачи предполагают применение эпициклоидальных и гипоциклоидальных сателлитов в нестандартных конфигурациях, где сателлиты располагаются снаружи или внутри цевочного колеса, что противоположно традиционным схемам. Проведен синтез «вывернутых» передач с использованием параметрических уравнений для построения профилей сателлитов. Проанализированы силовые характеристики таких передач, показано их сходство с традиционными передачами в плане распределения сил, что подтверждает их потенциальную применимость в различных механизмах.

Возникает вопрос: возможна ли передача с эпициклоидальным сателлитом, который бы находился снаружи цевочного колеса, как в передаче с гипоциклоидальным сателлитом? Или, наоборот, возможна ли передача с гипоциклоидальным сателлитом такая, что сателлит находился бы внутри цевочного колеса? Такие передачи могли бы иметь большую нагрузочную способность при сохранении простоты изготовления. Например, у передач с гипоциклоидальными сателлитами больше нагрузочная способность [5], но их сложнее изготавливать, так как выходной вал должен быть внутри сателлита. Предложенная передача позволяла бы разместить цевочное колесо снаружи сателлита, что облегчило бы ее изготовление. Поэтому имеется смысл в том, чтобы рассмотреть возможность создания «вывернутой» передачи.

Синтез «вывернутых» циклоидальных передач

Введение

В машиностроении используются различные варианты планетарно-цевочных редукторов: эпициклоидальные с механизмом параллельных кривошипов [2], с промежуточной планетарной ступенью [6] и другие [3]. Эти передачи обладают рядом достоинств: высокий удельный момент, крутильная жесткость, большой диапазон передаточных чисел [4].

Наиболее часто в этих передачах используется эпициклоидальный сателлит, который обкатывается по обойме с цевками. В некоторых работах [5] упоминается вариант гипоциклоидальной передачи, в которой сателлит находится снаружи обоймы с цевками. Однако в технике редко их можно встретить.

Типичная схема планетарно-цевочного редуктора приведена на рис. 1. Редуктор состоит из эксцентрикового вала (1), на котором в опоре на эксцентриковой части установлен циклоидальный сателлит (2). Сателлит зацепляется с обоймой с цевками (3), являющейся аналогом эпицикла в планетарном редукторе. Эксцентриковый вал является входным валом редуктора. При его вращении сателлит из-за того, что зацепляется с цевками, начинает медленно поворачиваться вокруг своей оси. Это вращение передается механизмом передачи вращения (4) на выходной вал редуктора (5).

Параметры передачи, используемые для ее построения, перечислены в табл. 1.

Рассмотрим построение профиля сателлита. Для этого найдем траекторию цевки в системе координат сателлита. Она задается параме-

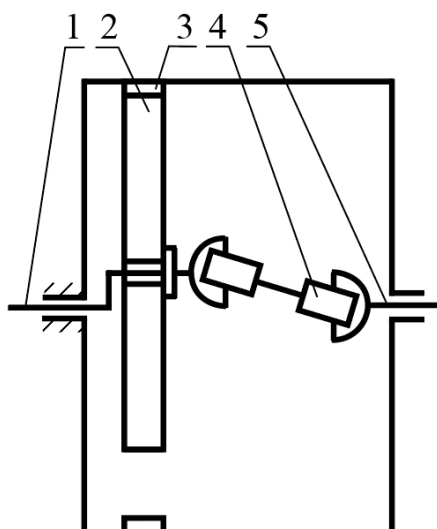


Рис. 1. Типичная схема планетарно-цевочного редуктора: 1 – входной вал; 2 – сателлит; 3 – обойма с цевками; 4 – механизм передачи вращения; 5 – выходной вал

Таблица 1. Параметры циклоидальной передачи

Название	Обозначение	Размерность
Делительный диаметр обоймы	a_p	мм
Число цевок	z_p	–
Эксцентриситет	e	мм
Диаметр цевок	d_p	мм
Параметр, определяющий форму циклоиды (эпи- или гипо-)	s	
Коэффициент укорочения циклоиды	$\lambda = 2z_p e / a_p$	

трическим вектором C [3]:

$$C = \begin{pmatrix} C_x \\ C_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a_p}{2} \sin(t) - e \sin(z_p t) \\ \frac{a_p}{2} \cos(t) - s e \cos(z_p t) \end{pmatrix},$$

где t – параметр, задающий точку сателлита и являющийся эквивалентом угла поворота входного вала передачи.

Найдем эквидистанту к этой кривой. Обычно ее строят внутри сателлита. Однако это не единственный доступный вариант. Эквидистанту можно направить в другом направлении, из-за чего сателлит примет совершенно другую форму. Эквидистанту получают сме-

щением траектории C вдоль ее нормали N , которая задается параметрическими уравнениями:

$$N = \begin{pmatrix} N_x \\ N_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{s(-\sin(t) + \lambda s \sin(z_p t))}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(z_s t)}} \\ \frac{s(-\cos(t) + \lambda \sin(z_p t))}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(z_s t)}} \end{pmatrix},$$

где $z_s = z_p - s$ – число выступов (зубьев) на сателлите. Это уравнение нормали в различных работах, например [1], использовалось для получения так называемых «обычных» циклоидальных передач – нам же необходимо моди-

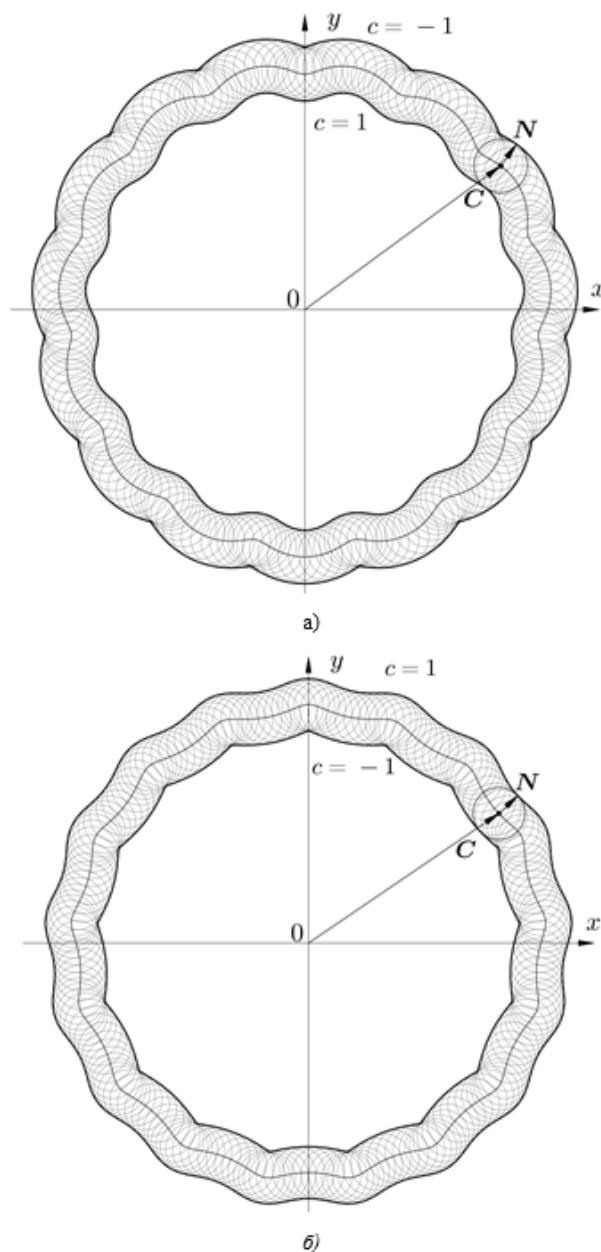


Рис. 2. Профиль сателлита эпициклоидальной (а) и гипоциклоидальной (б) для нормальной ($c = 1$) и вывернутой ($c = -1$) передачи

фицировать ее для получения «вывернутой» передачи.

Направление нормали зададим с помощью параметра c . Когда параметр c принимает значение 1, то нормаль будет направлена внутрь эпициклоиды и наружу гипоциклоиды. Когда -1 – наоборот. При таком выборе параметра получается, что обычные циклоидальные передачи соответствуют $c = 1$, а «вывернутые» $c = -1$. После преобразования получим:

$$N = \begin{pmatrix} N_x \\ N_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{cs(-\sin(t) + \lambda s \sin(z_p t))}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(z_s t)}} \\ \frac{cs(-\cos(t) + \lambda \sin(z_p t))}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(z_s t)}} \end{pmatrix}.$$

Профили сателлитов обычных передач и передач, полученных «выворачиванием», изображены на рис. 2. На рис. 2а изображена эпи-

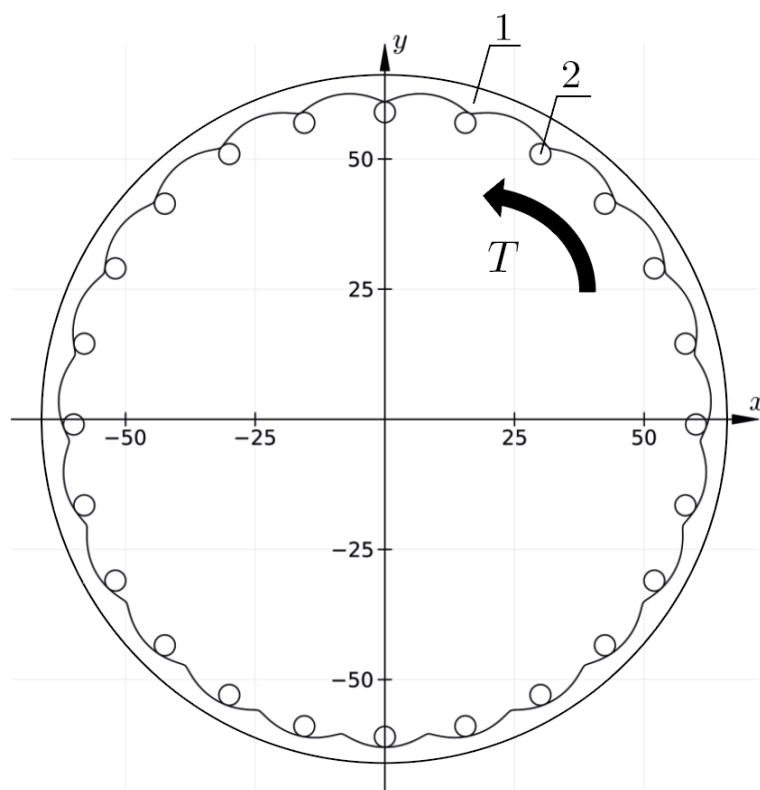


Рис. 3. Схема рассчитываемой циклоидальной передачи и приложения момента к обойме:
1 – сателлит; 2 – цевка

циклоидальная передача ($s = 1$) с параметрами $a_p = 90$ мм, $z_p = 16$, $d_p = 10$ мм, $\lambda = 0,35$. На рис. 2б изображена гипоциклоидальная передача ($s = -1$) с параметрами $a_p = 90$ мм, $z_p = 16$, $d_p = 10$ мм, $\lambda = 0,3$. Профили сателлитов получены в результате огибания цевки, движущейся по траектории вектора $\mathbf{C}$. Также на рисунках отмечены векторы $\mathbf{C}$ и $\mathbf{N}$.

Силовой анализ передачи

Силовой расчет передачи можно сделать по способу, предложенному в работе [1] для нормальных передач. Особенностью данного способа является то, что он подходит и для «вывернутой» передачи, так как в нем при вычислении сил используются координаты точек циклоиды, а не сателлита. Благодаря этому формулы для расчета сил будут одинаковы для нормальных передач и для вывернутых. Рассмотрим передачу с параметрами $a_p = 120$ мм, $z_p = 24$, $d_p = 2$ мм, $\lambda = 0,4$ и приложим к ее обойме момент 100 Н·м. Схема такой передачи изображе-

на на рис. 3, отмечен приложенный к обойме вращающий момент T , сателлит – 1, цевки – 2. Распределение сил по цевкам этой передачи приведено на рис. 4.

Заключение

Приведенные выше уравнения позволяют построить «вывернутую» циклоидальную передачу. Распределение сил в ней эквивалентно распределению в нормальной передаче, поэтому такие передачи можно применять в различных механизмах, где важно направление движения. Следует отметить, что хоть и распределение сил одинаково, у вывернутой передачи есть недостатки.

1. Малая кривизна зубчатых выступов сателлита, из-за чего на них возникают высокие контактные напряжения. Недостаток частично устраняется тем, что эти выступы можно срезать, так как они мало влияют на нагрузочную способность.

2. Их можно синтезировать только при

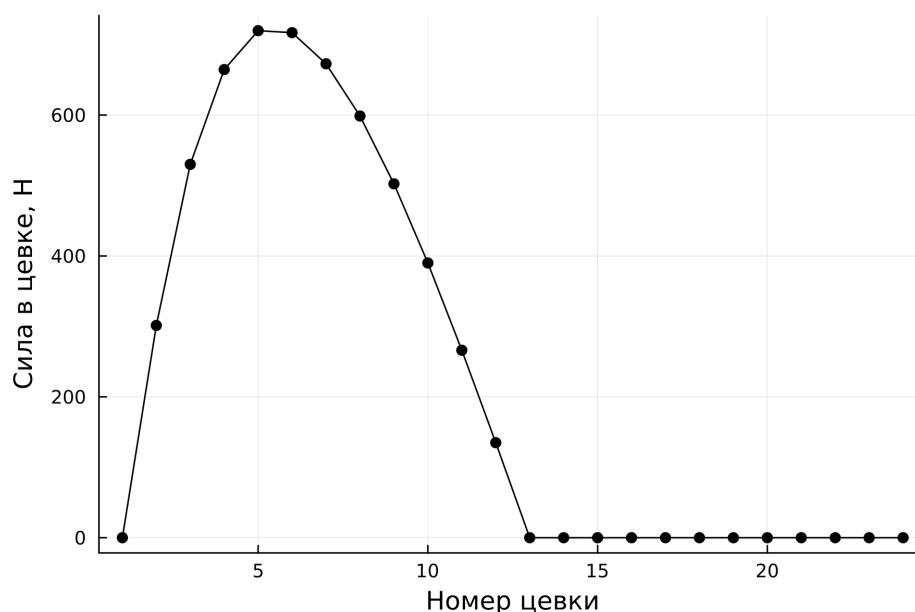


Рис. 4. Распределение сил по цевкам

малых значениях коэффициента укорочения циклоиды ($\lambda < 0,5$).

Список литературы

1. Ермолаев, М.М. Исследование влияния податливости подшипника на работу планетарно-цевочной передачи / М.М. Ермолаев, Ю.В. Синицына // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 4(721). – С. 15–22.
2. Захаров, М.Н. Оценка распределения нагрузки между сателлитами планетарно-цевочного редуктора / М.Н. Захаров, М.М. Ермолаев, А.В. Зайцева // Вестник машиностроения. – 2020. – № 6. – С. 34–39.
3. Иванов, А.С. Метод расчета нагрузочной способности планетарно-цевочного редуктора с пластиковыми сателлитами / А.С. Иванов, М.М. Ермолаев, А.В. Чиркин // Вестник машиностроения. – 2020. – № 4. – С. 15–20.
4. Efremkov, E.A. Development of an algorithm for computing the force and stress parameters of a cycloid reducer / E.A. Efremkov, S.A. Shanin, N.V. Martyushev // Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – No. 4. – P. 993.
5. Mo, J. Geometric design and dynamic characteristics of a novel abnormal cycloidal gear reducer / J. Mo et al. // Advances in Mechanical Engineering. – 2023. – Vol. 15. – No. 3. – P. 16878132231158895.
6. Wang, C. Design of high power density for RV reducer / C. Wang, K. Mao // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. – 2021. – Vol. 43. – No. 6. – P. 291.

References

1. Yermolayev, M.M. Issledovaniye vliyaniya podatlivosti podshipnika na rabotu planetarno-tsevochnoy peredachi / M.M. Yermolayev, YU.V. Sinitsyna // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. – 2020. – № 4(721). – S. 15–22.
2. Zakharov, M.N. Otsenka raspredeleniya nagruzki mezhdru satellitami planetarno-tsevochnogo

reduktora / M.N. Zakharov, M.M. Yermolayev, A.V. Zaytseva // Vestnik mashinostroyeniya. – 2020. – № 6. – S. 34–39.

3. Ivanov, A.S. Metod rascheta nagruzochnoy sposobnosti planetarno-tsevochnogo reduktora s plastikovymi satellitami / A.S. Ivanov, M.M. Yermolayev, A.V. Chirkin // Vestnik mashinostroyeniya. – 2020. – № 4. – S. 15–20.

© А.В. Чиркин, 2025

УДК 622.276.054.23:534.1

В.В. ПЕТРУХИН, С.В. ПЕТРУХИН, А.Е. АНАШКИНА

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

АНТОЛОГИЯ ПРИБОРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВИБРАЦИИ

Ключевые слова: вибрация; вибропере-
мещение; вибропреобразователь; виброско-
рость; виброускорение; датчик; измерение;
регистрация.

Аннотация. Целью исследования является анализ приборов для измерения параметров ви-
брации, предлагаемых на современном рынке, в
том числе вторичном. В ходе работы был произ-
веден обзор источников, рассматривающих кон-
струкции таких приборов, называемых вибро-
преобразователями или датчиками вибрации, их
принципиальные отличия, назначение. Приве-
дена лаконичная классификация приборов.

Кратко перечислены основные характери-
стики датчиков и фирмы-производители про-
дукции для вибродиагностики (как современ-
ные, так и работающие длительное время и не
теряющие востребованность). Результаты ана-
лиза показывают, что ассортимент приборов
и соответствующего программного обеспече-
ния достаточно широк, что позволяет выбрать
эффективные и экономичные средства вибро-
диагностики.

Процесс оценки величины вибрации вклю-
чает регистрацию одного из ее основных пара-
метров, последующую обработку полученных
данных, их преобразование в требуемый пара-
метр вибрации и дальнейшее представление
результатов в необходимой форме с помощью
программного обеспечения.

Практика определения вибрации показы-
вает, что практически все манипуляции с при-
борами, чувствительными к изменению вели-
чины вибрации, происходят на изучаемом или
испытуемом объекте, на его поверхности, т.е.
контактно.

К этим процессам проявляется повышен-
ное внимание уже более 50 лет: изменяются
принципы работы приборов, совершенствуются
технологии их изготовления и конструкции. В

статье представлен обзор таких приборов – дат-
чиков вибрации (вибропреобразователей).

История развития датчиков вибрации вклю-
чает несколько этапов:

- необходимость постоянных определе-
ний величины вибрации;
- появляются первые механические при-
боры, в которых вибрация преобразуется в дру-
гие физические величины, например, электри-
ческие;
- по мере широкого применения на прак-
тике физических законов появляются вибропре-
образователи, использующие эти законы, появ-
ляются датчики, чувствительные к различным
параметрам вибрации – виброскорости и вибро-
ускорению;
- совершенствование конструкций при-
боров измерителей, уменьшение их габаритов и
массы, увеличение чувствительности;
- к последнему этапу развития следует
отнести появление приборов, воспринимающих
сигнал от датчиков на основе процессоров, и
компьютерные технологии.

Принцип работы датчиков вибрации ос-
нован на различных физических эффектах: на-
пример, принцип работы датчиков вибрации
заключается в измерении физических величин
(ускорения, скорости и смещения) и их преоб-
разовании в электрические величины (напряже-
ние и ток) [1–4].

Современные датчики вибрации различают
по принципам их работы.

1. Пьезоэлектрические. При вибрации ко-
лебания от исследуемого объекта передаются
на пьезоэлементы. На их обкладках появляется
электрическое напряжение, величина которого
прямо пропорциональна усилию.

2. Оптические (лазерные). Принцип рабо-
ты основан на доплеровском сдвиге частот ла-
зерного излучения, которое отражается от под-
вижного объекта. Если датчики направить на
исследуемый объект в состоянии покоя, то дли-
ны исходного и отраженного луча будут равны.

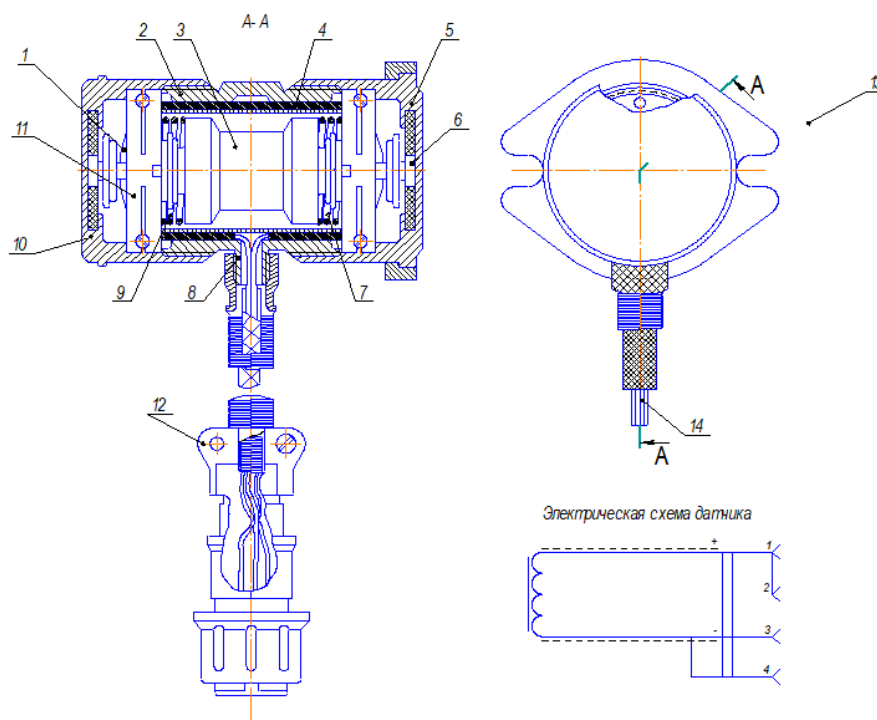


Рис. 1. Датчик виброскорости: 1 – сектор; 2 – корпус; 3 – магнит; 4 – катушка; 5 – сектор; 6 – винт; 7, 9 – пружины; 8 – штуцер; 10 – крышка; 11 – подшипник; 12 – штеккер; 13 – фланец; 14 – соединительный кабель

Если объект вибрирует, то лазерный датчик фиксирует изменения и передает их в фиксирующий прибор, в котором они преобразуются в параметры вибрации.

3. Вихретоковые. Бесконтактный тип приборов, измеряющих характеристики колебаний, когда изучаемый объект пропускает электрический ток. В ходе работы прибор возбуждает колебания в катушке, возникающее электромагнитное поле взаимодействует с изучаемым предметом. Электронный блок получает нужные данные и преобразует их в характеристики колебаний.

4. Индукционные. Датчики такого типа воспринимают механические колебания и преобразуют их в электрический токовый сигнал, попадающий на обмотку трансформатора, далее усиленный со вторичной обмотки подается на измерительный прибор.

Оптические фиксаторы вибрации не распространились из-за сложности транспортировки и настройки, сложности условий измерения и монтажа.

Практика измерений показала, что, применяя электронные вибропреобразователи, можно

получить значительно большую информацию.

Главным преимуществом электронных преобразователей является установка в различных частях объекта измерения, при этом вторичный регистрирующий прибор будет находиться дистанционно, на расстоянии длины кабеля датчика. Подобные приборы широко применяются при создании аварийной сигнализации и системы оповещения.

Современные датчики вибрации делятся на два основных типа: по конструкции и чувствительности к параметру вибрации (датчики виброскорости и датчики виброускорения).

К главным свойствам датчиков-вибропреобразователей относят их чувствительность, диапазон частот и резонансную частоту.

Обычный датчик виброскорости состоит из магнита, в поле которого перемещается катушка с грузиком, в катушке будет наводиться электродвижущая сила (ЭДС), прямо пропорциональная скорости перемещения катушки в магнитном поле (рис. 1).

Достоинством таких приборов являются стабильность параметров и несложная конструкция, недостатками – неширокий диапазон

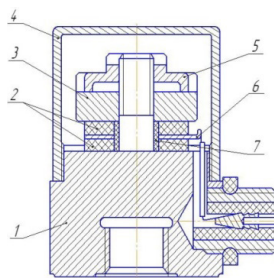


Рис. 2. Вибропреобразователь ДН4: 1 – корпус; 2 – пьезокристалл; 3 – грузик; 4 – колпачок; 5 – гайка; 6 – вывод; 7 – трубка

измерений и большая масса, из-за неудобства монтажа на объекте и достаточно крупных размеров повсеместно не применяются.

Конструкция прибора представляет собой следующее (рис. 1). Соединение датчика с блоком фильтров вторичного измерителя осуществляется с помощью экранированных проводов.

В датчиках, чувствительных к ускорению, получили применение полупроводниковые элементы (пьезокристаллы).

Из-за конструктивных особенностей и работы такие приборы разделили на пьезоакселерометры и емкостные датчики вибрации.

Пьезоакселерометр состоит из корпуса, в котором установлен пьезокристалл с закрепленным на нем грузиком.

Корпус воспринимает вибрацию, грузик, воздействуя на кристалл, деформирует его, на обкладках появляется электрический ток, пропорциональный виброускорению объекта (рис. 2).

Пьезоакселерометры обладают широким диапазоном частот, малыми габаритами и массой, высокой чувствительностью.

К недостаткам относят низкую помехозащищенность, возможность резонанса в диапазоне частот и относительно большую стоимость.

Сравнительно недавно появились трехкоординатные вибропреобразователи, в которых установлены пьезокристаллы, обеспечивающие измерения в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Такие приборы применяются в системах стационарного мониторинга с многоканальными цифровыми измерителями.

Пьезоэлектрические датчики весьма чувствительны к процессам вокруг испытываемых машин, в соединительных кабелях появляются наводки, искажающие получаемые данные, заземление приборов и экранирование кабелей не всегда эффективно, поэтому в датчики встра-

ивают усилитель, что дает возможность увеличить длину кабеля и помехозащищенность приборов.

Применение емкостных датчиков вибрации только начинается. Их появление тесно связано с развитием микроэлектроники, на кристалле микросхемы устанавливаются все элементы прибора, представляющие собой колебательные контуры, с которых снимается электрический сигнал, пропорциональный вибрации объекта.

Достоинства приборов: возможность регистрации сверхнизко-частотных вибраций, даже с 0 Гц, и высокая чувствительность. Недостатки: невысокий диапазон 200–1 000 Гц и сложность тарировки.

Применение вибродиагностики в различных сферах деятельности показало, что пьезоакселерометры (вибропреобразователи виброускорения) составляют самую многочисленную группу датчиков и являются основными для определения вибрации в настоящее время.

Эти приборы имеют высокие эксплуатационные параметры, малый вес и габариты, простоту крепления на объекте, а полученные данные легко преобразуются в кинематические и динамические величины [4–5].

Большую известность приобрели вибропреобразователи серии ДН завода «Виброприбор» (г. Таганрог), появившиеся одними из первых и выпускающиеся до сих пор.

Вибропреобразователь пьезоэлектрический ДН-4 работает как преобразователь механических колебаний объекта в электрические сигналы, которые пропорциональны ускорению колеблющегося объекта (рис. 2).

Таковыми приборами комплектуются различные измерительные приборы, еще работающие на электронных лампах и полупроводниках, в том числе легендарный измеритель вибрации и шума ВШВ-003 и многие его модификации.



Рис. 3. Вибропреобразователи AP37 (ЗЭТ) и BK-310 (Виконт)

Датчик широкополосный: диапазон частот $0 \div 12500$ Гц, размеры – $18 \times 17 \times 14$ мм, масса всего 13 г.

Прибор ДН-4 представлен на рис. 2.

В основе работы датчика – прямой пьезоэлектрический эффект. На пьезоэлементы действует нагрузка от грузика, на их обкладках появляется электрический ток, величина которого пропорциональна ускорению объекта [6–7].

Датчики, предлагаемые в настоящее время производителями, отличаются тем, что разработчики приборов ориентируются на сферу их применения, чаще всего они универсальные. Такие приборы позволяют решать различные часто встречающиеся задачи по контролю состояния оборудования.

Отечественная промышленность выпускает в настоящее время большую номенклатуру вибропреобразователей разной чувствительности, назначения, способов крепления и габаритов.

Среди этих приборов много похожих по параметрам, поэтому приведем наиболее известные отечественные фирмы, давно работающие на рынке диагностических приборов и про-

граммного обеспечения.

Одна из таких фирм – ООО «Технекон» [8].

ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы – ЗЭТ» разработало целое семейство приборов, в котором более десятка датчиков общего назначения [9].

НПП «ВиКонт» специализируется на выпуске вибропреобразователей различного назначения, включая трехкомпонентные, ими комплектуют свои приборы и другие изготовители [10].

Вибропреобразователь BK-310 – пьезоэлектрический акселерометр со встроенной электроникой (рис. 3).

АОЗТ «Диамех 2000» является одним из известных отечественных производителей приборов и программного обеспечения [11].

Российский производитель учебного оборудования, электроники и программного обеспечения – *Releon* [9].

Также существует группа компаний ZETLAB, ООО «ЭТМС» и «ЗЕТЛАБ» [12]. ПФФ «Виброцентр» – разработчик электронных цифровых виброизмерителей, датчиков и программного обеспечения [13].

Список литературы

1. Смирнов, В.А. Основы измерения вибрации (по материалам фирмы DLI) / В.А. Смирнов. – Нижний Новгород : Инкотес, 2006. – 28 с.
2. Петрухин, В.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие / В.В. Петрухин, С.В. Петрухин. – М. : Инфра-Инженерия, 2013. – 176 с.
3. Функции и применение системы «Master Trend». Программное обеспечение CSI для обслуживания оборудования по фактическому состоянию. – CSI «Master Trend», 2015. – 73 с.
4. Lea, J.F. What's new in artificial lift / J.F. Lea, H.W. Winkler // World Oil. – 1992. – Vol. 213. – No. 4. – P. 41–44.
5. Соколов, Д.В. Сравнительные характеристики сборщиков спектроанализаторов фирм производителей / Д.В. Соколов. – М. : Промсервис, 2006. – 23 с.
6. Русов, В.А. Спектральная вибродиагностика. Вып. 1 / В.А. Русов. – Пермь : Вибро-Центр, 1996. – 175 с.
7. Durham, M.O. Effect of vibration on ESP failures / M.O. Durham // Journal of Petroleum Technology. – 1990. – Vol. 42. – No. 2. – P. 186–190.
8. Каталог выпускаемой продукции ООО «Технекон». – М., 2007. – 30 с.

9. Барков, А.В. Современное состояние технических средств анализа вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, П.П. Якобсон. – Санкт-Петербург : Ассоциация ВАСТ, 2003. – 16 с.
10. Каталог изделий НПП «ВиКонт». – М., 2017. – 48 с.
11. Каталог выпускаемой продукции АОЗТ «Фирма Диамех 2000». – М., 2022. – 24 с.
12. Каталог ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы. ЗЭТ». – Московская область, Солнечногорский р-н, пос. Менделеево : ФГУП ВНИИФТРИ, 2017. – 31 с.
13. Как выбрать прибор [Электронный ресурс]. – Режим доступа : vibrocenter@vibrocenter.ru.

References

1. Smirnov, V.A. Osnovy izmereniya vibratsii (po materialam firmy DLI) / V.A. Smirnov. – Nizhniy Novgorod : Inkotes, 2006. – 28 s.
2. Petrukhin, V.V. Osnovy vibrodiagnostiki i sredstva izmereniya vibratsii: uchebnoye posobiye / V.V. Petrukhin, S.V. Petrukhin. – М. : Infra-Inzheneriya, 2013. – 176 s.
3. Funktsii i primeneniye sistemy «Master Trend». Programmnoye obespecheniye CSI dlya obsluzhivaniya oborudovaniya po fakticheskomu sostoyaniyu. – CSI «Master Trend», 2015. – 73 s.
5. Sokolov, D.V. Sravnitel'nyye kharakteristiki sborshchikov spektroanalizatorov firm proizvoditeley / D.V. Sokolov. – М. : Promservis, 2006. – 23 s.
6. Rusov, V.A. Spektral'naya vibrodiagnostika. Vyp. 1 / V.A. Rusov. – Perm' : Vibro-Tsentr, 1996. – 175 s.
8. Katalog vypuskayemoy produktsii ООО «Tekhnekon». – М., 2007. – 30 s.
9. Barkov, A.V. Sovremennoye sostoyaniye tekhnicheskikh sredstv analiza vibratsii / A.V. Barkov, N.A. Barkova, P.P. Yakobson. – Sankt-Peterburg : Assotsiatsiya VAST, 2003. – 16 s.
10. Katalog izdeliy NPP «ViKont». – М., 2017. – 48 s.
11. Katalog vypuskayemoy produktsii АОЗТ «Фирма Диамех 2000». – М., 2022. – 24 s.
12. Каталог ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы. ЗЭТ». – Московская область, Солнечногорский р-н, пос. Менделеево : ФГУП ВНИИФТРИ, 2017. – 31 s.
13. Kak vybrat' pribor [Electronic resource]. – Access mode : vibrocenter@vibrocenter.ru.

© В.В. Петрухин, С.В. Петрухин, А.Е. Анашкина, 2025

УДК 629.585

*Д.В. ХАРИТОНОВ, В.И. РУБЦОВ, Н.И. ШУВАЛОВ**ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет**имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАКЕТА ГИБРИДНОГО ПОДВОДНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО РОБОТА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ КОРПУСА СУДНА

Ключевые слова: аддитивное прототипирование; герметичность; гибридная система управления; диагностика судового корпуса; объемная конструкция; маневренность; подводный робот.

Аннотация. Цель исследования – спроектировать макет робота для диагностики подводной части судна.

Задачи исследования: изучить современные конструкции специализированных робототехнических средств для подводной диагностики, провести сравнительный анализ используемых конструкций, разработать конструкцию, описать используемые технологии для производства макетного образца.

Гипотеза исследования: гибридный подводный робот с объемной конструкцией и комбинированным режимом управления (автономным и кабельным) обеспечит сопоставимую с доковым осмотром точность диагностики корпуса судна при сокращении времени проведения работ и снижении эксплуатационных затрат.

Методы исследования: аналитический обзор литературы, сравнительный анализ, разработка конструкции, создание макета.

Достигнутые результаты: в ходе сравнительного анализа выявлены существенные преимущества определенной конструкции для решения поставленных задач.

В рамках настоящего исследования проведены обзор и сравнительный анализ существующих конструкций подводных диагностических роботов – телеуправляемых, автономных и гибридных систем. Оценены их ключевые характеристики: маневренность, автономность управления, универсальность

применения и стоимость эксплуатации. На основе полученных данных разработан концептуальный макет гибридного аппарата, разработан его цифровой двойник, после чего изготовлен опытный образец для предварительного испытания.

Введение

Подводная робототехника объединяет механику, электронику, гидродинамику и искусственный интеллект (ИИ) для решения задач по обслуживанию и мониторингу подводных объектов [1]. Применение роботов для диагностики без вывода судна в док позволяет в кратчайшие сроки выявлять коррозию, трещины и другие повреждения с помощью ультразвуковых датчиков и видеокамер, снижая простои и затраты на техническое обслуживание [2].

Описание основных типов применяемых роботов

Телеуправляемые необитаемые аппараты (ТНА) обеспечивают локальную диагностику с высокоточным видеоконтролем в реальном времени [3]. Управление по кабелю гарантирует стабильную подачу питания и передачу данных. В состав оборудования входят камеры высокого разрешения, ультразвуковые толщиномеры и инструменты для очистки корпуса, что позволяет детально обследовать сварные швы, винто-рулевые группы и катодные элементы. Основные ограничения – длина кабеля и участие оператора, что увеличивает затраты на обслуживание.



Рис. 1. Внешний вид примера телеуправляемого необитаемого аппарата



Рис. 2. Внешний вид примера автономного необитаемого аппарата

Автономные необитаемые аппараты (АНА) отслеживают корпус по заданному маршруту без участия оператора [4]. Используя сонар и профилограф, они формируют 3D-модель судна и быстро обследуют обширные участки. Ключевые ограничения – повышенный риск столкновений в стесненных условиях и отсутствие возможности для точечной диагностики.

Гибридные аппараты сочетают автономный режим с возможностью оперативного перехода на кабельное управление для детального осмотра дефектов и оснащены манипуляторами для выполнения мелких ремонтных операций [5]. Такие системы обеспечивают высокую универсальность и эффективность, однако требуют сложной интеграции, настройки оборудования и квалифицированного персонала, что увеличивает их стоимость внедрения.

На демонстрационных иллюстрациях выделены три ключевые концепции конструкций

подводных роботов:

- объемные;
- торпедовидные;
- плоские.

Выбор типа робота зависит от конкретных задач:

- ТНА обеспечивают максимальную детализацию при локальном обследовании;
- АНА эффективны для регулярного мониторинга больших судов;
- гибридные системы оптимальны для комплексных миссий, требующих как обследования, так и ремонтных работ.

Для обеспечения гибкого управления и интеграции разнообразных датчиков и систем управления была выбрана гибридная объемная конструкция робототехнического комплекса.

Описание технического задания на разработку конструкции робота

Для проведения прочностных и энергетиче-

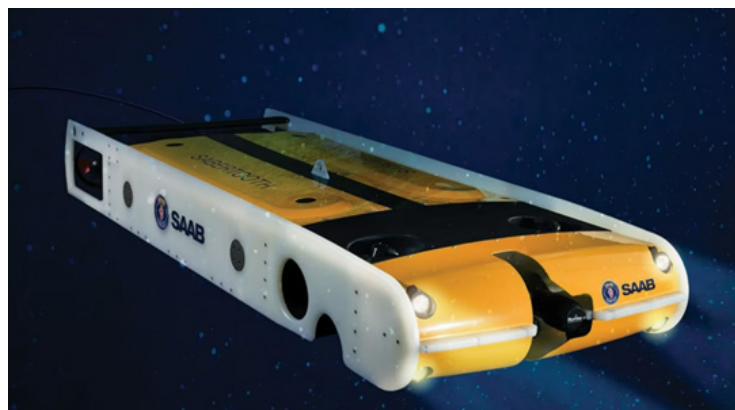


Рис. 3. Внешний вид примера гибридной системы

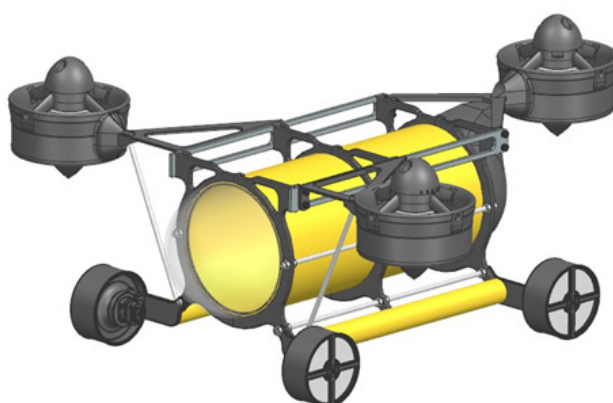


Рис. 4. Внешний вид разработанной конструкции



Рис. 5. Скрепляющие ребра

ческих расчетов принято решение взять за основу следующие характеристики разрабатываемой системы:

- масса не более 5 кг;
- минимальное лобовое сопротивление;

– обеспечить достаточную мощность двигателей колес для преодоления препятствий $r < r_k$;

- обеспечить $v = 1$ м/с;
- обеспечить габариты не более

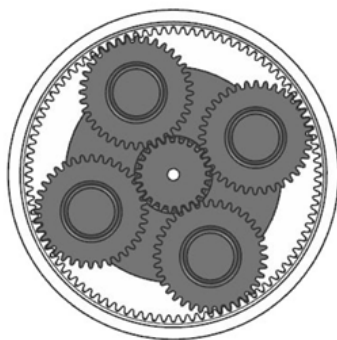


Рис. 6. Планетарный редуктор



Рис. 7. Несущая балка



Рис. 8. Кронштейн турбины

500x500x500 мм;

- обеспечить достаточную прочность для погружения на глубину до 15 метров, при этом обеспечив дешёвизну производства;
- материал корпуса должен быть легко обрабатываем;
- обеспечить герметичность внутренних полостей робота;
- обеспечить возможность гибридного управления роботом.

В качестве основного материала корпуса робота принят пластик в связи с отсутствием подверженности коррозии и необходимости снижения массы робота.

В конструкции основной несущей ча-

сти применена пластиковая трубка диаметром 110 мм (рис. 4).

Опорные стойки изготовлены из трубы диаметром 20 мм и жестко связаны с корпусом тремя поперечными ребрами (рис. 5). На опорные стойки смонтированы кронштейны планетарных колесных редукторов (рис. 6).

К верхней части корпуса закреплены две продольные несущие балки (рис. 7).

К передней части несущих балок через кронштейны (рис. 8) вмонтированы турбины (рис. 9).

Производство макета выполнено методом аддитивного прототипирования (3D-печати).

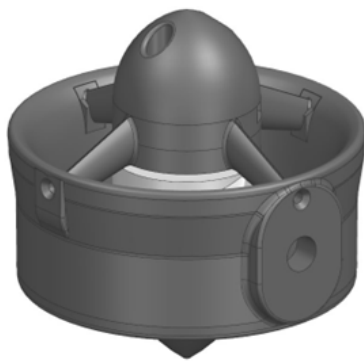
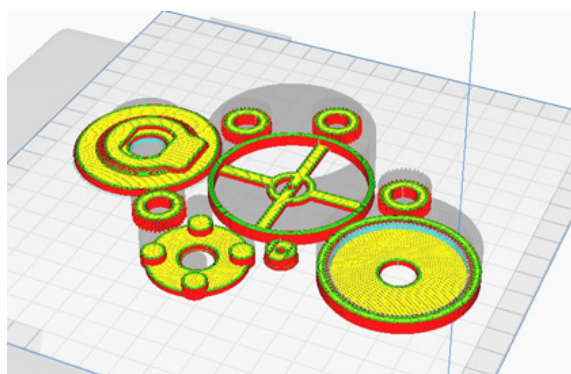


Рис. 9. Турбина

Рис. 10. Визуализация деталей колесного редуктора в *Ultimaker Cura*

Сначала в *CAD*-системах (*AutoCAD*, *SolidWorks* и др.) была создана точная трехмерная модель с заданными геометрическими и функциональными параметрами. Затем модель экспортируется в программу слайсер, где формируется *g-code* для печати. Послойное наращивание осуществляется за счет экструзии термопластичного материала. Для изготовления корпусных элементов выбран *PETG*, обладающий оптимальным сочетанием прочности и коррозионной стойкости, а для зубчатых передач использован нейлон с низким коэффициентом трения, что обеспечивает высокую износостойкость.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ различных конструктивных решений позволил определить оптимальную архитектуру макета робота. На его основе разработан опытный образец и выбран комплекс материалов и технологий, обеспечивающих требуемые прочностные и эксплуатационные характеристики. Предварительные испытания опытного образца подтвердили соответствие техническим требованиям и указывают на перспективу дальнейшей доработки и масштабирования конструкции.

Список литературы/References

1. Johnson-Roberson, M. Underwater Robotics: From Remotely Operated Vehicles to Intervention-Autonomous Underwater Vehicles / M. Johnson-Roberson, M. Bryson, A. Friedman [et al.] // Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems. – 2017. – Vol. 1. – P. 235–258.
2. Whitcomb, L.L. Underwater Robotics: Out of the Research Laboratory and Into the Field / L.L. Whitcomb // Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2000. – Vol. 1. – P. 709–716.

3. ROV Applications in Marine Industry [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.rov.org/applications>

4. AUV Survey Applications [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.bluefinrobotics.com/survey-applications>.

5. Hybrid Vehicle Technology Review [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.oceannews.com/hybrid-review>.

© Д.В. Харитонов, В.И. Рубцов, Н.И. Шувалов, 2025

УДК 621.865.8:005

А.Ю. ПОЛИВАНОВ, ДАБУЛ ЮСЕФ, АЛФАРВИ ИССА, МУСА ЗЕЙН
ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН», г. Москва

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ СИСТЕМАМИ КООРДИНАТ ДЛЯ РОБОТА KUKA KR16 С ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Ключевые слова: базовая система координат; преобразование координат; робот; система технического зрения (СТЗ).

Аннотация. В статье дается информация о переносе системы координат в технике, когда техническое зрение робота KUKA KR16 используется в комбинации с устройствами, позволяющими преобразовать или приспособить исходные координаты к целям работы. Эта интеграция позволяет роботу выполнять адаптивное обнаружение объектов в своем рабочем пространстве, значительно расширяя его эксплуатационные возможности. В обсуждении подчеркивается важнейшая роль как внешней, так и внутренней калибровки СТЗ, обеспечивающей точное выравнивание и точность распознавания объектов. Благодаря тщательной калибровке этих систем KUKA KR16 может эффективно адаптироваться к динамическим средам, повышая эффективность и надежность в различных приложениях.

Координатное преобразование в промышленных роботах, оснащенных системами технического зрения, играет важную роль в повышении точности и эффективности таких задач, как сборка и обработка материалов. Этот процесс необходим для точного позиционирования и ориентации объектов, гарантируя, что робот может успешно манипулировать предметами в динамической рабочей среде. Облегчая взаимодействие между различными системами координат, координатное преобразование связывает глобальные представления, которые обеспечивают широкий обзор рабочего пространства, с локальными координатами, специфичными для

конкретной задачи, которые имеют решающее значение для выполнения точных движений.

Для решения проблемы точного определения координат объекта в системе координат робота с использованием изображений используются как внутренние, так и внешние методы калибровки. Внутренняя калибровка фокусируется на уточнении параметров камеры, в то время как внешняя калибровка обеспечивает точное соответствие движений робота объектам в его окружении. Вместе эти подходы позволяют роботу работать с повышенной точностью и надежностью, в конечном итоге повышая общую производительность промышленных процессов.

Кроме того, преобразование координат может быть полезно для коррекции ошибок и компенсации неточностей в системе. Например, если роботу требуется выполнить точное позиционирование, преобразование координат может помочь учесть возможные искажения или смещения в системе и скорректировать движение робота соответствующим образом.

Координаты находятся в соответствии со следующей зависимостью:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}_6 = A_{6,p} A_{p,k} A_{k,i} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}_i. \quad (1)$$

В данном контексте:

- $A_{(6, p)}$ представляет собой преобразующую матрицу от системы координат робота (X_p, Y_p, Z_p) к базовой системе координат (X_6, Y_6, Z_6);
- $A_{(p, k)}$ является матрицей преобразования между системой координат камеры (X_k, Y_k, Z_k) и системой координат робота (X_p, Y_p, Z_p);

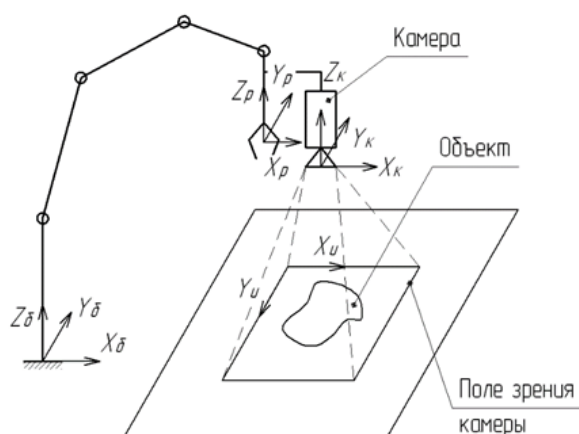


Рис. 1. Установка системы технического зрения на концевой эффектор манипулятора



Рис. 2. Ключевые задачи, решаемые методом преобразования систем координат

	$A_{0,3} = \begin{pmatrix} \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) & -\sin q_1 & -\cos q_1 \sin(q_2 + q_3) & a_3 \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \cos q_1 \cos q_2 + a_1 \cos q_1 \\ \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) & \cos q_1 & -\sin q_1 \sin(q_2 + q_3) & a_3 \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_1 \cos q_2 + a_1 \sin q_1 \\ \sin(q_2 + q_3) & 0 & \cos(q_2 + q_3) & a_3 \sin(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$	
--	--	--

	$A_{3,6} = \begin{pmatrix} \cos q_4 \cos q_5 \cos q_6 - \sin q_4 \sin q_6 & -\cos q_4 \cos q_5 \sin q_6 - \sin q_4 \cos q_6 & -\cos q_4 \sin q_5 & -d_6 \cos q_4 \sin q_5 \\ \sin q_4 \cos q_5 \cos q_6 + \cos q_4 \sin q_6 & -\sin q_4 \cos q_5 \sin q_6 + \cos q_4 \cos q_6 & -\sin q_4 \sin q_5 & -d_6 \sin q_4 \sin q_5 \\ \sin q_5 \cos q_5 & 0 & \cos q_5 & d_6 \cos q_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$	
--	--	--

Рис. 3. Формулы (2) и (3)

– $A_{(к, и)}$ осуществляет переход от системы координат изображения ($X_{и}, Y_{и}$) к системе координат камеры ($X_{к}, Y_{к}, Z_{к}$).

При работе с промышленными работа-

ми процесс преобразования координат включает решение ряда задач, визуализированных на рис. 2.

Рассмотрим эти задачи более подробно.

	$p_x = -d_6 \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) \cos q_4 \sin q_5 + d_6 \sin q_1 \sin q_4 \sin q_5 - d_6 \cos q_1 \sin(q_2 + q_3) \cos q_5 + a_3 \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \cos q_1 \cos q_2 + a_1 \cos q_1;$	(4)
--	---	-----

	$p_y = -d_6 \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) \cos q_4 \sin q_5 - d_6 \cos q_1 \sin q_4 \sin q_5 - d_6 \sin q_1 \sin(q_2 + q_3) \cos q_5 + a_3 \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_1 \cos q_2 + a_1 \sin q_1;$	(5)
--	---	-----

	$p_z = -d_6 \sin(q_2 + q_3) \cos q_4 \sin q_5 + d_6 \cos(q_2 + q_3) \cos q_5 + a_3 \sin(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_2 + d_1.$	(6)
--	---	-----

Рис. 4. Формулы (4)–(6)

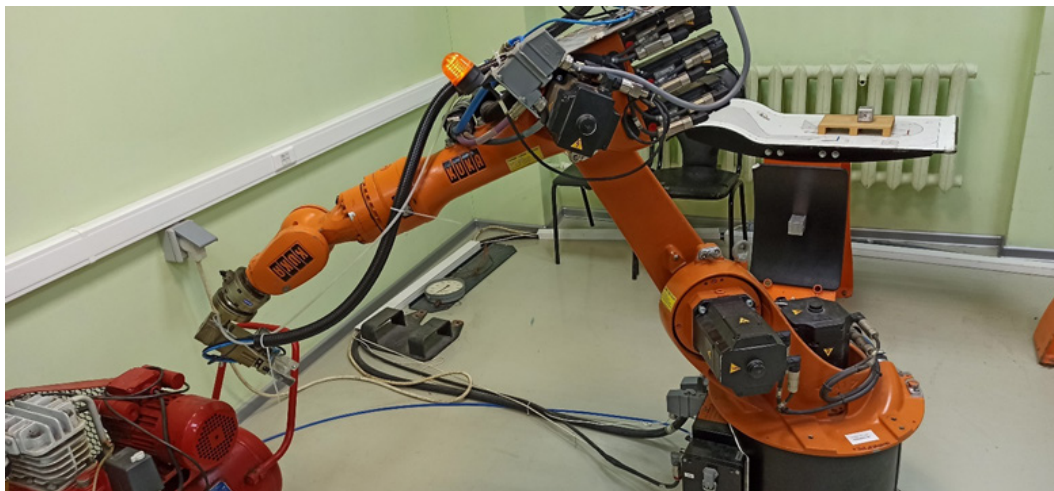


Рис. 5. Позиционирование робота KUKA KR16 для выполнения координатных измерений

Вычисление кинематических уравнений для определения положения рабочего органа промышленного робота KUKA KR16

С целью упрощения решения прямой кинематической задачи применим методику координатных преобразований Денавита-Хартенберга. Данный подход основан на стандартизированных правилах задания систем координат $O_i X_i Y_i Z_i$ для каждого звена.

Выполним построение локальных систем координат звеньев манипулятора KUKA KR16 в соответствии с методологией Денавита-Хартенберга (рис. 3).

Определение матрицы преобразования $A_{3,6}$ выполним с использованием программного пакета MATLAB. Данный подход обеспечит верификацию корректности полученных уравнений, описывающих траекторию движения исполнительного устройства при варьировании обобщенных координат робота-манипулятора. На рис. 4 представлены графики перемещения ко-

нечной точки по осям X, Y, Z в глобальной системе координат $O_0 X_0 Y_0 Z_0$.

Использованы обозначения:

– q – суставные переменные кинематической схемы робота, построенной по методике Денавита-Хартенберга;

– Q – управляющие координаты, используемые в контроллере робота KUKA KR16.

Данное различие в обозначениях необходимо учитывать при разработке алгоритмов преобразования координат. Следует отметить, что в штатной системе управления KUKA KR16 применяются именно координаты $Q_i, i = 1, \dots, N$, такие, что:

$$\begin{aligned} q_1 &= Q_1; & q_2 &= -Q_2; & q_3 &= -(90 + Q_3); \\ q_4 &= Q_4; & q_5 &= Q_5; & q_6 &= Q_6. \end{aligned} \quad (7)$$

Верификация корректности решения прямой кинематической задачи выполнялась по следующей методике.

1. Позиционирование – робот KUKA KR16

был перемещен в конфигурацию, указанную на рис. 5.

2. Сбор данных – с пульта управления были считаны значения координат в двух представлениях:

- в обобщенных (суставных) координатах;
- в декартовой (прямоугольной) системе координат.

Обобщенные координаты:

$$q_1 = 147,01^\circ, q_2 = 60,52, q_3 = -169,15, \\ q_4 = 174,42, q_5 = -12,76, q_6 = -123,70^\circ.$$

Координаты концевой точки робота в прямоугольной системе координат:

$$p_x = -915,44 \text{ мм}, p_y = 585,1 \text{ мм}, p_z = 1599,8 \text{ мм}.$$

Подставляем q_i , $i = 1-6$ в уравнениях p_x, p_y, p_z :

$$p_x = -210 * \cos(147.01) * \cos(60.52 - 169.15) * \\ \cos(174.42) * \sin(-12.76) + 210 * \sin(147.01) * \\ \sin(-12.76) - 210 * \cos(147.01) * \\ \sin(60.52 - 169.15) * \cos(-12.76) + \\ 45 * \cos(147.01) * \cos(60.52 - 169.15) + \\ 1050 * \cos(147.01) * \cos(60.52) + \\ 350 * \cos(147.01) = -915.33 \text{ mm}.$$

$$p_y = -210 * \sin(147.01) * \\ \cos(60.52 - 169.15) * \cos(174.42) * \\ \sin(-12.76) - 210 * \cos(147.01) * \\ \sin(174.42) * \sin(-12.76) - 210 * \\ \sin(147.01) * \sin(60.52 - 169.15) * \\ \cos(-12.76) + 45 * \sin(147.01) * \\ \cos(60.52 - 169.15) + 1050 * \\ \sin(147.01) * \cos(60.52) + \\ 350 * \sin(147.01) = 585.00 \text{ mm}.$$

$$p_z = -210 * \sin(60.52 - 169.15) * \\ \cos(174.42) * \sin(-12.76) + 210 * \\ \cos(60.52 - 169.15) * \cos(-12.76) + \\ 45 * \sin(60.52 - 169.15) + 1050 * \\ \sin(60.52) + 750 = 1599.72 \text{ mm}.$$

Внешняя калибровка камеры

Внешняя калибровка направлена на определение матрицы $A_{p, k}$. Для этого предлагается использовать модифицированный вариант классического алгоритма калибровки Цая. Такой подход выбран благодаря его высокой точности при преобразовании пространственных координат и сравнительно низкой вычислительной нагрузке по сравнению с другими методами.

Алгоритм основывается на следующем принципе. Рассмотрим две системы координат: $O_1X_1Y_1Z_1$ и $O_2X_2Y_2Z_2$. Пусть точка T имеет координаты, заданные векторами $l_1 = (x_1, y_1, z_1)^T$ в первой системе и $l_2 = (x_2, y_2, z_2)^T$ во второй. В этом случае преобразование координат между системами сводится к определению матрицы вращения R и вектора смещения t , обеспечивающих выполнение соответствующего преобразования:

$$l_1 = R * l_2 + t, \quad (8)$$

где R – матрица поворота;

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}; \quad (9)$$

t – вектор переноса;

$$t = [T_x, T_y, T_z]^T. \quad (10)$$

На примере робота *KUKA KR16*, оснащенного камерой с монтажным узлом на концевом звене, рассмотрим процесс определения матрицы $A_{p, k}$, которая отражает положение камеры в рабочем момент времени. Матрицы эти вычисляются геометрическим способом, пользуясь графически продуктивной интерпретацией, представленной схематически на рис. 6. Основное его достоинство – в том, что и смещение, и вращение описываются единым математическим блоком, являющимся матрицей однородного преобразования размерности 4×4 , а это означает, что он подчиняется тому же правилу, что и преобразования в преобразованиях Дена-Хартенберга.

Рис. 4 демонстрирует систему координат робота, построенную согласно его кинематической схеме, где ось Z_p направлена от фланца манипулятора. Координатная система камеры

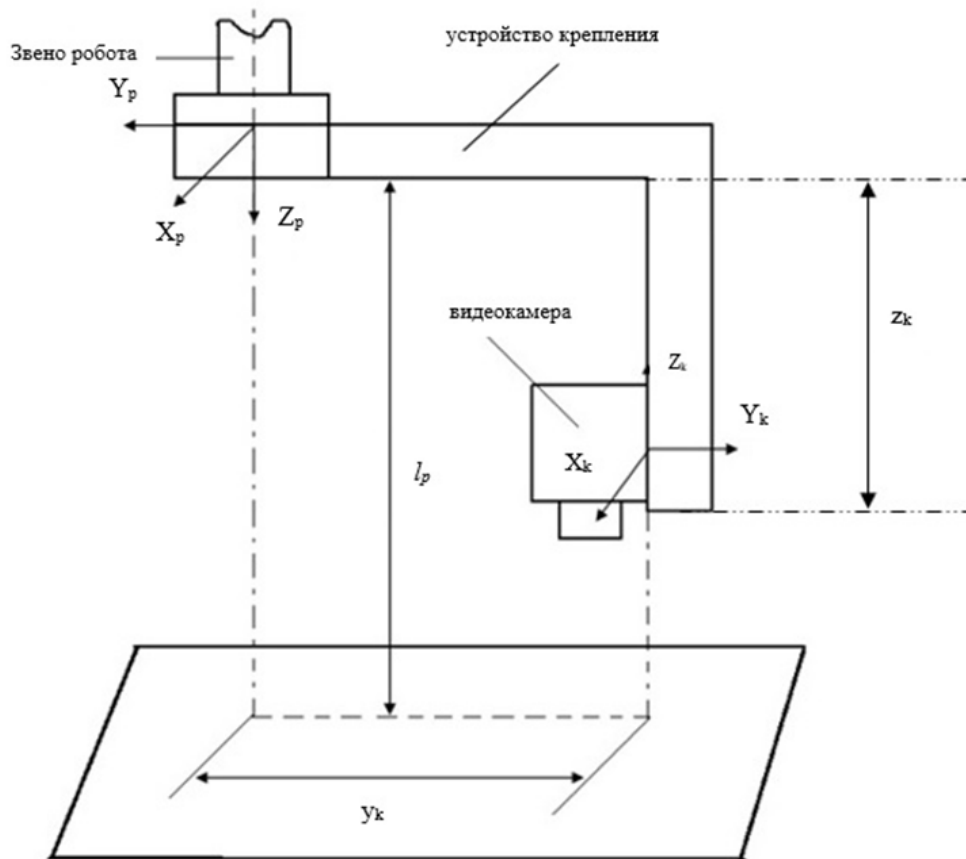


Рис. 6. Относительное позиционирование манипулятора и системы зрения при расчете матриц преобразования

ориентирована таким образом, что ее ось Z_p совпадает с оптической осью объектива. Благодаря точности изготовления крепежного устройства, оси обеих систем координат сохраняют параллельность, что существенно упрощает расчет элементов преобразующей матрицы $A_{p,k}$.

В данных условиях определение матрицы $A_{p,k}$ сводится к следующему.

1. Нахождению координат начала системы $X_p Y_p Z_p$ относительно базовой системы $X_b Y_b Z_b$, которые составляют $(0, -81, 160)^T$.

2. Вычислению матрицы ориентации камеры относительно системы координат робота. В рассматриваемом случае эта матрица представлена следующим образом:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Сформировав общую матрицу преобразования из ориентационной матрицы и вектора по-

ложения, получаем:

$$A_{p,k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -95 \\ 0 & 0 & -1 & -144 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Внутренняя калибровка камеры

При выполнении внутренней калибровки необходимо следующее.

1. За базовую точку отсчета системы $X_b Y_b Z_b$ принимается правый угол корпуса калибровочного стенда (рис. 5).

2. Начало координат крепежной системы $X_k Y_k Z_k$ располагается в точке пересечения калибровочной пластины с осью правого фиксирующего штифта.

Для определения матрицы преобразования требуется установить взаимное положение:

- системы координат изображения (СКИ);
- конструктивного элемента камеры (в

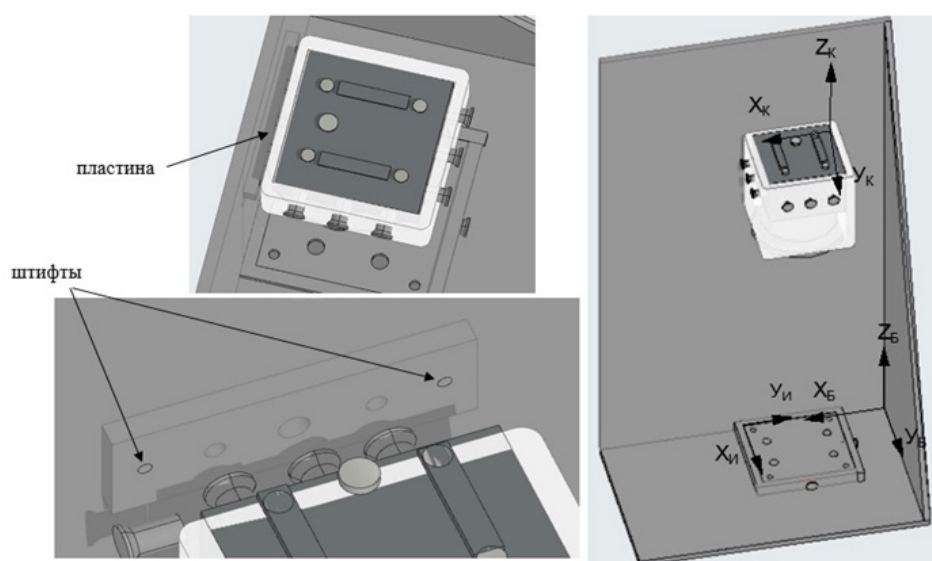


Рис. 7. Распределение систем координат и структурных элементов в пространстве

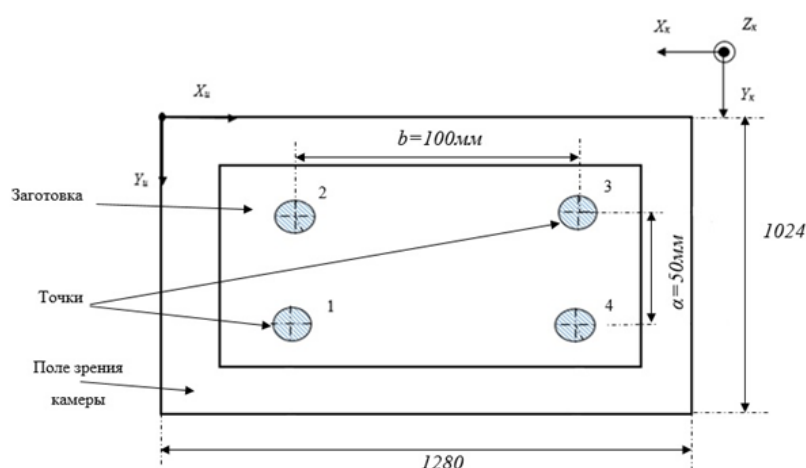


Рис. 8. Тестовая пластина для определения внутренних параметров камеры

данном случае – фиксирующего штифта).

Выбор штифта в качестве репера обусловлен его функцией точного позиционирования камеры относительно монтажного узла. Расположение соответствующей системы координат $X_K Y_K Z_K$ было представлено на рис. 6.

Ключевые особенности преобразования.

1. Различие единиц измерения - координаты изображения задаются в пикселях, тогда как система координат камеры использует миллиметровую шкалу, что влияет на коэффициенты матрицы A_k и.

2. Преимущества фиксированного кре-

пления – наличие точных позиционирующих штифтов в крепежной системе позволяет выполнять внутреннюю калибровку автономно, без привлечения роботизированной платформы, используя специальное калибровочное устройство (рис. 7).

3. Повышение точности – такой подход исключает систематические погрешности, связанные с неточностями позиционирования робота-манипулятора.

Для определения матрицы A_k и воспользуемся калибровочной пластиной, представленной на рис. 7. Пластина содержит четыре

эталонных метки (1–4), нанесенных методом гравировки. Позиции этих меток в системе координат камеры $X_k Y_k Z_k$ известны с точностью до $\pm 0,1$ мм и имеют следующие значения: $(x_1, y_1, z_1)^T, (x_2, y_2, z_2)^T, (x_3, y_3, z_3)^T, (x_4, y_4, z_4)^T$.

$$x_k = 1280 - x_u. \quad (13)$$

$$y_k = y_u. \quad (14)$$

Чтобы перевести координаты x_u, y_u из пикселей в миллиметры, требуется определить масштабный коэффициент k . Известно, что эталонные расстояния между метками составляют $a = 50$ мм и $b = 100$ мм. Соответствующие расстояния в пикселях вычисляются по координатам точек, используя формулу расстояния между двумя точками на плоскости. Искомый масштабный коэффициент определяется как отношение физических размеров к их пиксельным эквивалентам:

$$k = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{(x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2}}; \quad (15-16)$$

$$x_k = k(1280 - x_u) = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} \cdot (1280 - x_u)}{\sqrt{(x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2}};$$

$$y_k = k y_u = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} y_u}{\sqrt{(x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2}}; \quad (17)$$

Применяя расчетные формулы к координатам контрольных меток (x_2, y_2) и (x_4, y_4) , мы определяем их положение в системе координат

камеры. В процессе калибровочных измерений было установлено:

- вертикальное смещение между системами координат составляло 120 мм;
- масштабный коэффициент k равнялся 0,625.

Согласно схеме взаимного расположения систем координат (СК), представленной на рис. 7, преобразующая матрица $A_{k,и}$ имеет следующую структуру:

$$A_{k,и} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & x_{0и} \\ 0 & 1 & 0 & y_{0и} \\ 0 & 0 & -1 & z_{0и} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Значения в матрице отражают позицию исходной точки СК изображения в СК стола.

В используемом калибровочном устройстве:

$$x_{0и} = 210 \text{ мм}, y_{0и} = 96 \text{ мм}, z_{0и} = 135 \text{ мм}.$$

Опираясь на проведенное исследование был разработан метод преобразования координат, который значительно облегчает управление промышленным роботом KUKA KR16, оборудованным системой технического зрения. Созданное решение позволяет пересчитать координаты объекта, отображенные СТЗ, в координаты манипулятора робота, в глобальной системе координат. Данный метод обладает широким спектром использования и может применяться для разных производственных процессов.

Список литературы

1. Подураев, Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение / Ю.В. Подураев. – М. : Машиностроение, 2006.
2. Поливанов, А.Ю. Методика преобразования координат системы технического зрения промышленного робота для операции лазерной сварки / А.Ю. Поливанов, Ю.В. Иванов, Д.В. Холин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – Т. 21. – № 3. – С. 166–173.
3. Зенкевич, С.Л. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
4. Fu, K.S. Robotics: control, sensing, vision and intelligence / K.S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee. – New York : McGraw-Hill Book Company, 1987.
5. Dahari, M. Forward and inverse kinematics model for robotic welding process using KUKA KR16 robot / M. Dahari, J.D. Tan. – 2011.
6. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – 2-е изд. – СПб : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
7. Tsai, R.Y. A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision

Metrology Using Off-The-Shelf TV Cameras and Lenses / R.Y. Tsai // IEEE Journal on Robotics and Automation. – 1987. – Vol. 3. – No. 4. – P. 323–344.

8. Алфарви, И. Анализ погрешности позиционирования и упругих деформаций в робототехнических системах / И. Алфарви, В.А. Игнатьев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 6(156). – С. 80–84.

References

1. Podurayev, YU.V. Mekhatronika: osnovy, metody, primeneniye / YU.V. Podurayev. – M. : Mashinostroyeniye, 2006.

2. Polivanov, A.YU. Metodika preobrazovaniya koordinat sistemy tekhnicheskogo issledovaniya promyshlennoy robota dlya operatsii lazernoy svarki / A.YU. Polivanov, YU.V. Ivanov, D.V. Kholin // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. – 2020. – T. 21. – № 3. – S. 166–173.

3. Zenkevich, S.L. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami / S.L. Zenkevich. – 2-ye izd., ispr. i dop. – M. : MGTU im. N.E. Bauman, 2004. – 480 s.

6. Yurevich, Ye.I. Osnovy robototekhniki / Ye.I. Yurevich. – 2-ye izd. – SPb : BKHV-Peterburg, 2005. – 416 s.

8. Alfarvi, I. Analiz pogreshnosti kolyaski i uprugikh deformatsiy v robototekhnicheskikh sredstvakh / I. Alfarvi, V.A. Ignat'yev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 6(156). – S. 80–84.

© А.Ю. Поливанов, Дабул Юсеф, Алфарви Исса, Муса Зейн, 2025

УДК 621.9.04

И.Н. ХРУСТАЛЕВА, Л.Г. ЧЕРНЫХ, О.Д. УВАРОВА, С.Н. СТЕПАНОВ
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический
университет», г. Санкт-Петербург

МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИЦЕХОВОГО ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТА

Ключевые слова: векторный критерий оптимизации; многокритериальная оптимизация; теоретико-множественная модель; транспортный маршрут.

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы многокритериальной оптимизации процесса перемещения груза в рамках производственного подразделения. Процесс транспортировки груза является неотъемлемой частью производственного процесса на машиностроительном предприятии. Целью статьи является разработка модели оптимизации параметров внутрицехового транспортного маршрута. Задачами исследования являются анализ факторов, влияющих на эффективность реализации внутрицехового транспортного маршрута, формирование векторного критерия оптимизации для внутрицехового транспортного маршрута, формирование теоретико-множественной модели внутрицехового транспортного маршрута. В работе представлена модель оптимизации параметров внутрицеховых транспортных операций, реализуемых в рамках отдельных производственных подразделений. Определены множества целевых показателей и параметров управления, а также граничные условия реализации модели. Оптимизация транспортных операций и транспортных маршрутов производится на основе следующего множества целевых показателей: величина операционных затрат; трудоемкость реализации комплекса действий по перемещению грузов; показатели эффективности использования транспортного средства в процессе перемещения груза; общая масса транспортируемого груза; общая длина транспортного маршрута.

Введение

Процесс внутрицехового перемещения грузов является неотъемлемой частью производственного процесса на машиностроительном предприятии. Эффективность внутрицеховой транспортной системы как элемента производственной системы машиностроительного предприятия зависит от уровня оптимизации каждого транспортного маршрута, реализуемого в рамках соответствующего производственного подразделения [1; 2]. В условиях рыночной экономики задача оптимизации параметров производственного процесса, частью которого являются транспортные операции, становится особенно актуальной [3].

Для повышения эффективности производственной деятельности промышленного предприятия необходимо построение эффективных цепочек поставок в рамках производственной системы [4; 5].

Стремительное развитие цифровых технологий является ключевым фактором для разработки и внедрения более эффективных методов проектирования и анализа логистических систем, а также их управления [6–8].

Применение цифровых технологий в логистической системе для решения задач оптимизации транспортных потоков в рамках отдельных производственных подразделений позволяет повысить эффективность процесса транспортировки грузов и снизить трудоемкость этапа планирования [9; 10].

Оптимизация внутрицеховых транспортных операций является мощным инструментом для сокращения производственных потерь, рас-

смаатриваемых в рамках концепции бережливо-го производства. Модели оптимизации транспорт-ных потоков и календарное планирование транспортных операций получили широкое рас-пространение на всех этапах производственно-го процесса [11–14].

В рамках данной работы рассмотрен во-прос оптимизации транспортных маршрутов, реализуемых в рамках структурного подразде-ления – производственного цеха. Целью работы является повышение эффективности процессов планирования и управления транспортными внутрицеховыми потоками.

Теоретико-множественная модель внутрицехового транспортного маршрута

Теоретико-множественная модель t -го транспортного маршрута, реализуемого в рам-ках m -ой транспортной операции, имеет сле-дующую структуру:

$$TrRt_{mt} = \{(El_{mt}^{TrRt} | El_{mt}^{TrRt} \neq \emptyset), V_{mt}^{TrRt}, (PMen_{mt}^{TrRt} | PMen_{mt}^{TrRt} \neq \emptyset), (TrI_{mt}^{TrRt} | TrI_{mt}^{TrRt} \neq \emptyset)\},$$

где $TrRt_{mt}$ – теоретико-множественная модель t -го транспортного маршрута, реализуемого в рамках m -ой транспортной операции; El_{mt}^{TrRt} – подмножество элементов, формирующих струк-туру t -го транспортного маршрута, реализуе-мого в рамках m -ой транспортной операции; V_{mt}^{TrRt} – матрица параметров взаимосвязи эле-ментов t -го транспортного маршрута, реализу-емого в рамках m -ой транспортной операции; $PMen_{mt}^{TrRt}$ – подмножество параметров управле-ния процессом реализации t -го транспортного маршрута, выполняемого в рамках m -ой транс-портной операции; TrI_{mt}^{TrRt} – подмножество це-левых показателей t -го транспортного маршру-та, реализуемого в рамках m -ой транспортной операции.

Определена следующая структура подмно-жества элементов, формирующих структуру t -го транспортного маршрута, реализуемого в рамках m -ой транспортной операции:

$$El_{mt}^{TrRt} = \{(TrSc_{mn} | TrSc_{mn} \in (M_{\text{баз}}^{TrSc})_m^{TrOp})\},$$

где $TrSc_{mn}$ – множество параметров, характери-

зующих n -ый транспортный маршрут, реализу-емый в рамках m -ой транспортной операции; $(M_{\text{баз}}^{TrSc})_m^{TrOp}$ – базовая матрица транспортных участков, реализуемых в рамках m -ой транс-портной операции.

Матрица параметров взаимосвязи элемен-тов t -го транспортного маршрута, реализуе-мого в рамках m -ой транспортной операции, имеет вид:

$$V_{mt}^{TrRt} = \begin{pmatrix} (v_{TrP}^{TrRt})_{11} & (v_{TrP}^{TrRt})_{21} \\ (v_{TrP}^{TrRt})_{12} & (v_{TrP}^{TrRt})_{22} \\ \dots & \dots \\ (v_{TrP}^{TrRt})_{1(j-1)} & (v_{TrP}^{TrRt})_{2(1-1)} \\ (v_{TrP}^{TrRt})_{1j} & (v_{TrP}^{TrRt})_{2j} \\ \dots & \dots \\ (v_{TrP}^{TrRt})_{(i-1)1} & (v_{TrP}^{TrRt})_{i1} \\ \dots & (V)_{(i-1)2} & (v_{TrP}^{TrRt})_{i2} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & (v_{TrP}^{TrRt})_{(i-1)(j-1)} & (v_{TrP}^{TrRt})_{i(j-1)} \\ \dots & (v_{TrP}^{TrRt})_{(i-1)j} & (v_{TrP}^{TrRt})_{ij} \end{pmatrix},$$

где $(v_{TrP}^{TrRt})_{ij}$ – параметр, характеризующий взаимосвязь i -го предшествующего транспорт-ного участка и j -го последующего транспорт-ного участка, реализуемых в рамках t -го транс-портного маршрута.

Параметр $(v_{TrP}^{TrRt})_{ij} \in [0; (z - 1)]$, $(v_{TrP}^{TrRt})_{ij} \in \mathbb{N}$, где z – количество пунктов, в ко-торые доставляется груз в процессе реализации t -го транспортного маршрута, шт. Значение па-раметра $(v_{TrP}^{TrRt})_{ij} = 0$ характеризует отсутствие взаимосвязи между i -ым и j -ым пунктами в рамках t -го транспортного маршрута. Значение параметра $1 \leq (v_{TrP}^{TrRt})_{ij} \leq (z - 1)$ характеризует наличие взаимосвязи между пунктами в рам-ках t -го транспортного маршрута и определяет порядковый номер их следования.

Определена следующая структура подмно-жества параметров управления t -ым транспорт-ным маршрутом, реализуемым в рамках m -ой транспортной операции:

$$PMen_{mt}^{TrRt} = \{(Pm_i^{Tr} | Pm_i^{Tr} \in (M_{\text{баз}}^{PMen})^{PrTr}), (V_{TrRt}^{PMen})_{mt}\},$$

$$(V_{TrRt}^{PMen})_{mk} \cdot (M_{\text{баз}}^{PMen})^{PrTr} =$$

$$\begin{pmatrix} (v_1^{PMen})^{TrRt} \\ \dots \\ (v_j^{PMen})^{TrRt} \end{pmatrix} \cdot (Pm_i^{Tr} \dots Pm_i^{Tr}) = \\ (v_1^{PMen})^{TrRt} \cdot Pm_i^{Tr} + \dots + \\ (v_j^{PMen})^{TrRt} \cdot Pm_i^{Tr}, \\ Pm_i^{Tr} \in PMen_{mt}^{TrRt}, (v_j^{PMen})^{TrRt} = 1,$$

где Pm_i^{Tr} – i -ый параметр управления процессом реализации транспортного участка; $(M_{\text{баз}}^{PMen})^{PrTr}$ – множество параметров управления процессом реализации транспортного участка; $(V_{TrRt}^{PMen})_{mt}$ – матрица соответствия параметров управления процессом перемещения грузов по t -му транспортному маршруту, реализуемому в рамках m -ой транспортной операции; $(v_j^{PMen})^{TrRt}, (v_j^{PMen})^{TrRt} = 0 \vee (v_j^{PMen})^{TrRt} = 1$ – j -ый параметр соответствия i -го параметра управления процессом перемещения груза t -му транспортному маршруту.

Подмножество целевых показателей t -го транспортного маршрута, реализуемого в рамках m -ой транспортной операции, имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} TrI_{mt}^{PrTr} &= \{ (TrI_i^{PrTr} | TrI_i^{PrTr} \in (M_{\text{баз}}^{PrTr})^{TrI}), \\ &\quad (V_{TrRt}^{PrTr})_{mt} \}, \\ &\quad (V_{TrRt}^{PrTr})_{mt} \cdot (M_{\text{баз}}^{PrTr})^{TrI} = \\ &\quad \begin{pmatrix} (v_1^{TrI})^{TrRt} \\ \dots \\ (v_j^{TrI})^{TrRt} \end{pmatrix} \cdot (TrI_1^{PrTr} \dots TrI_i^{PrTr}) = \\ &= (v_1^{TrI})^{TrRt} \cdot TrI_1^{PrTr} + \dots + \\ &\quad (v_j^{TrI})^{TrRt} \cdot TrI_i^{PrTr}, \\ &\quad TrI_i^{PrTr} \in TrI_{mt}^{TrRt}, (v_j^{TrI})^{TrRt} = 1, \end{aligned}$$

где TrI_i^{PrTr} – i -ый целевой показатель, характеризующий процесс реализации транспортного маршрута; $(M_{\text{баз}}^{PrTr})^{TrI}$ – множество целевых показателей, характеризующих процесс транспортирования грузов в рамках предприятия; $(V_{TrRt}^{PrTr})_{mt}$ – матрица соответствия целевых показателей, характеризующих процесс перемещения грузов, t -му транспортному маршруту, реализуемому в рамках m -ой транспортной операции; $(v_j^{TrI})^{TrRt}, (v_j^{TrI})^{TrRt} = 0 \vee (v_j^{TrI})^{TrRt} = 1$ – j -ый

параметр соответствия i -го целевого показателя, характеризующего процесс перемещения груза, t -му транспортному маршруту, реализуемому в рамках m -ой транспортной операции.

Постановка задачи управления параметрами внутрицехового транспортного маршрута

Определена следующая структура векторного критерия оптимизации для внутрицехового транспортного маршрута:

$$\begin{aligned} F_{Tr}^{ISTrR}(U^{ISTrR}) &= ((OPEX_{sj}^{ISTrR})_r(U^{ISTrR}), \\ &\quad (T_{sj}^{ISTrR})_r(U^{ISTrR}), ((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_r(U^{ISTrR}), \\ &\quad ((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_r(U^{ISTrR}), (L_{ikn}^{ISTrR})_{sjr}(U^{ISTrR})), \end{aligned}$$

где F_{Tr}^{ISTrR} – векторный критерий оптимизации внутрицехового транспортного маршрута; U^{ISTrR} – множество параметров управления для оптимизации внутрицехового транспортного маршрута; $(OPEX_{sj}^{ISTrR})_r$ – величина операционных затрат, возникающих в результате реализации r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения, мин.; $(T_{sj}^{ISTrR})_r$ – величина трудоемкости реализации r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения, мин.; $((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_r$ – коэффициент эффективности использования транспортного средства по грузоподъемности в процессе реализации r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения; $((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_r$ – коэффициент эффективности по времени доставки груза r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения; $(L_{ikn}^{ISTrR})_{sjr}$ – значение длины r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения, м.

Множество параметров управления имеет

$$\left\{ \begin{aligned} (OPEX_{sj}^{ISTrR})_r &= (OPEX_{sj}^{wag})^{ISTrR} + (OPEX_{sj}^{am})^{ISTrR} + (OPEX_{sj}^{rep})^{ISTrR} \rightarrow \min, \\ (T_{sj}^{ISTrR})_r &= \frac{\sum_{g=1}^{(N_{ikn}^{ISTrS})_{sj}} ((l_{ikn}^{ISTrS})_{sjr})_g \cdot (t_{av}^{ULO})_{sj}}{60000 \cdot V_{ikn}^{TC}} + \frac{(t_{av}^{ULO})_{sj}}{60} \rightarrow \min, \\ ((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_r &= \sum_{g=1}^{(N_{ikn}^{ISTrS})_{sj}} \frac{M_g^{ISTrS} \cdot l_g^{ISTrS}}{G_j^{TC} \cdot (L_{ikn}^{ISTrR})_{sjr}} \rightarrow \max, \\ ((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_r &= \sum_{z=1}^q \frac{(t_z^{min})_{Tp\Pi} \cdot ((\beta_{ikn}^{Tp\Pi})_{sj}^{ISTrR})_z}{((T_{ikn}^{ISTrS})_{sjr})_z} \rightarrow \max, \\ (L_{ikn}^{ISTrR})_{sjr} &= \sum_{g=1}^{(N_{ikn}^{ISTrS})_{sj}} ((l_{ikn}^{ISTrS})_{sjr})_g \rightarrow \min, \\ \sum_{j=1}^h (OPEX_{sj}^{ISTrR})_r &\leq OPEX^{ISTrR} - OPEX_{LUO}^{ISTrR}, \\ \sum_{j=1}^h (T_{sj}^{ISTrR})_r &\leq T^{ISTrR} - T_{LOU}^{ISTrR}, \\ ((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_r &\geq ((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_{r,\min}, \\ ((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_r &\geq ((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_{r,\min}, \end{aligned} \right.$$

Рис. 1. Модель оптимизации внутрицехового транспортного маршрута

следующую структуру:

$$U^{ISTrR} = \{((l_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_g, ((M_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_g, ((Type_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_g, ((T_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_z\},$$

где $((l_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_g$ – параметр, характеризующий длину g -го внутрицехового транспортного участка, реализуемого в пределах j -ой внутрицеховой транспортной операции, выполняемой в пределах s -го производственного подразделения с применением транспортного средства i -го типа k -ой группы n -го наименования, м.; $((M_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_g$ – параметр, характеризующий общую массу груза, перемещаемого в рамках g -го внутрицехового транспортного участка, реализуемого в пределах j -ой внутрицеховой транспортной операции, выполняемой в пределах s -го производственного подразделения с применением транспортного средства i -го типа k -ой группы n -го наименования, т.; $((Type_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_g$ – параметр, характеризующий тип транспортного средства, применяемого в процессе реализации внутрицехового транспортного маршрута; $((T_{ikn}^{ISTrR})_{sjr})_z$ – пара-

метр, характеризующий общее время перемещения z -ой партии транспортной партии груза в рамках r -го внутрицехового транспортного маршрута j -ой внутрицеховой транспортной операции, выполняемой в пределах s -го производственного подразделения с применением транспортного средства i -го типа k -ой группы n -го наименования, мин.

Определены следующие граничные условия реализации модели:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^h (OPEX_{sj}^{ISTrR})_r &\leq OPEX^{ISTrR} - OPEX_{LUO}^{ISTrR}, \\ \sum_{j=1}^h (T_{sj}^{ISTrR})_r &\leq T^{ISTrR} - T_{LOU}^{ISTrR}, \\ ((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_r &\geq ((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_{r,\min}, \\ ((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_r &\geq ((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_{r,\min}, \end{aligned}$$

где $OPEX^{ISTrR}$ – общая величина операционных затрат, возникающая в рамках внутрицеховой транспортной системы, руб.; $OPEX_{LUO}^{ISTrR}$ – общая величина операционных затрат, возникающих в результате реализации погрузочно-разгрузочных операций в рамках внутрицеховой транспортной системы; руб.; T^{ISTrR} – величина общей трудоемкости выполнения транс-

портных операций, реализуемых в рамках внутрицеховой транспортной системы, ч.; T_{LUO}^{ISTrR} – общая величина трудоемкости выполнения погрузочно-разгрузочных операций, реализуемых в рамках внутрицеховой транспортной системы, ч.; $((K_{ef}^G)_{sj}^{ISTrR})_{r,min}$ – минимальное значение коэффициента эффективности по времени доставки груза r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения; $((K_{ef}^t)_{sj}^{ISTrR})_{r,min}$ – минимальное значение коэффициента эффективности использования транспортного средства по грузоподъемности в процессе реализации r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции в пределах s -го производственного подразделения.

Модель оптимизации внутрицехового транспортного маршрута имеет вид (рис. 1), где $(OPEX_{sj}^{wag})^{ISTrR}$ – параметр характеризующий величину операционных затрат на выплату заработной платы производственному рабочему, реализующему r -ый внутрицеховой транспортный маршрут, выполняемый в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции, руб.; $(OPEX_{sj}^{am})^{ISTrR}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на амортизационные отчисления на транспортное средство, применяемое в процессе реализации r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции, руб.; $(OPEX_{sj}^{rep})^{ISTrR}$ – параметр характеризующий величину операционных затрат на ремонт и обслуживание

транспортного средства, применяемого в процессе реализации r -го внутрицехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции, руб.; $((l_{ikn}^{ISTrS})_{sjr})_g$ – параметр, характеризующий транспортный участок, м; $(t_{av}^{ULO})_{sj}$ – параметр, характеризующий среднюю величину реализации погрузочно-разгрузочной операции, выполняемой в рамках j -ой внутрицеховой транспортной операции, мин.; M_g^{ISTrS} – параметр, характеризующий общую массу транспортируемого груза в рамках g -го транспортного участка, т.; l_g^{ISTrS} – параметр, характеризующий длину g -го транспортного участка, м.; G_j^{TC} – параметр, характеризующий грузоподъемность транспортного средства, применяемого в процессе реализации j -го транспортного маршрута, т.; $(t_z^{min})^{Tr\Pi}$ – параметр, характеризующий минимальное время перемещения транспортной партии, мин.

Заключение

По результатам проведенного исследования сформирована структурная иерархическая модель объекта исследования, которая послужила основой для разработки комплексной оптимизационной модели, позволяющей определять оптимальные значения целевых показателей на различных уровнях управления. Для каждого элемента структурной модели объекта управления сформированы множества целевых показателей, параметров управления, граничных условий реализации модели, а также определены структуры математических моделей.

Список литературы

1. Черных, Л.Г. Расчет систематической составляющей первичного профиля с учетом относительных колебаний / Л.Г. Черных, С.Н. Степанов, И.Н. Хрусталева // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 4(142). – С. 113–116.
2. Salam, M. The causal-effect model of input factor allocation on maize production: Using binary logistic regression in search for ways to be more productive / M. Salam, M.R. Rusli, K. Samma, A.N. Tenriawaru, Rahmadanih, A.I. Muslim, H.N.B. Ali, M. Ridwan // Journal of Agriculture and Food Research. – 2024. – Vol. 16. – P. 101094.
3. Francisco Mendes dos Santos Junior. Big Bags Reverse Logistics using Business Intelligence and Multi-Criteria Analysis / F.M. dos Santos Junior, P.P.M. Tomaz, B.P. Diniz, M.J. de Siqueira Silva, D.A. de Moura Pereira, D.M.M. do Monte, M. dos Santos, C.F.S. Gomes, D.O. Costa // Procedia Computer Science. – 2022. – Vol. 214. – P. 172–178.
4. Liu, L. Research on the Management System of enterprises using Modern Logistics Supply Chain Theory / L. Liu // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 24. – P. 721–725.

5. Woschank, M. The Integration of Smart Systems in the Context of Industrial Logistics in Manufacturing Enterprises / M. Woschank, D. Steinwiedder, A. Kaiblinger, P. Miklautsch, C. Pacher, H. Zsifkovits // *Procedia Computer Science*. – 2022. – Vol. 200. – P. 727–737.
6. Yang, X. Research on the strategy of knowledge sharing among logistics enterprises under the goal of digital transformation / X. Yang, L. Pan, A. Song, X. Ma, J. Yang // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9. – Issue 4. – P. e15191.
7. Xiao, Y. Game relations between platform enterprises and participants of digital interaction-sharing platforms in the maritime logistics industry / Y. Xiao, K.X. Li, G. Qi, M. Jin // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. – 2023. – Vol. 178. – P. 103292.
8. Maiorova, K. Development of industrial products of industrial and logistics enterprises / K. Maiorova // *Transportation Research Procedia*. – 2022. – Vol. 63. – P. 2030–2038.
9. Fareed, A.G. Role and applications of advanced digital technologies in achieving sustainability in multimodal logistics operations: A systematic literature review / A.G. Fareed, F. De Felice, A. Forcina, A. Petrillo // *Sustainable Futures*. – 2024. – Vol. 8. – P. 100278.
10. Sardarabady, N.J. A systematic literature review on the economic impact of digitalization technologies in transport logistics / N.J. Sardarabady, S. Durst // *Transport Economics and Management*. – 2024. – Vol. 2. – P. 76–89.
11. Lei, C. Memetic algorithm for solving flexible flow-shop scheduling problems with dynamic transport waiting times / C. Lei, N. Zhao, S. Ye, X. Wu // *Computers & Industrial Engineering*. – 2020. – Vol. 139. – P. 105984.
12. Zhu, Y. Production logistics digital twins: Research profiling, application, challenges and opportunities / Y. Zhu, J. Cheng, Z. Liu, Q. Cheng, X. Zou, H. Xu, Y. Wang, F. Tao // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2023. – Vol. 84. – P. 102592.
13. Thüerer, M. Digital Twin Architecture for Production Logistics: The Critical Role of Programmable Logic Controllers (PLCs) / M. Thüerer, S.S. Li, T. Qu // *Procedia Computer Science*. – 2022. – Vol. 200. – P. 710–717.
14. Bučková, M. Designing of logistics systems with using of computer simulation and emulation / M. Bučková, R. Skokan, M. Fusko, R. Hodoň // *Transportation Research Procedia*. – 2019. – Vol. 40. – P. 978–985.

References

1. Chernykh, L.G. Raschet sistematicheskoy sostavlyayushchey pervichnogo profilya s uchetom otnositel'nykh kolebaniy / L.G. Chernykh, S.N. Stepanov, I.N. Khrustaleva // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2023. – № 4(142). – S. 113–116.

© И.Н. Хрусталева, Л.Г. Черных, О.Д. Уварова, С.Н. Степанов, 2025

УДК 51.74

И.А. АЗИЗЯН, С.С. КАРАБАНОВА, И.С. ПОПОВ

Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва

ЗАДАЧА ПОДБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ В ХОДЕ ПРИКИДОЧНОЙ ОЦЕНКИ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: диагностика; критерии надежности; структурная схема.

Аннотация. Актуальность работы: изучение вопросов надежности элементов, изделий и систем в ходе реализации учебного процесса в техническом вузе определяется улучшением качества подготовки специалистов машиностроительной отрасли, способствует лучшему пониманию закономерностей построения технологических процессов, оптимизации оценки, диагностики, эксплуатации и ремонта изделия.

Цель работы – сформировать умение сравнительного анализа различных структурных соединений для диагностики и контроля надежности технических систем на этапе прикидочного расчета студентами технического вуза.

Методы исследования:

- анализ надежности исходной системы;
- определение показателей надежности при минимальном числе резервных элементов;
- сравнение показателей надежности системы для выбора оптимальной структуры.

Результаты: подобраны схемные задачи, представляющие в единстве элементы базовых и специальных дисциплин в учебном процессе, которые позволяют оценить оптимальный вид структурного соединения.

Для обеспечения надежного функционирования машиностроительного комплекса необходимо постоянно совершенствовать конструкцию и технологию производства машин и механизмов, разрабатывать и внедрять мероприятия по поддержанию работоспособности машин в эксплуатации.

Так как задачи контроля, диагностики, повышения или сохранения работоспособности технической системы стоят перед инженером

на практике, то перед обучающимися технического вуза в ходе учебного процесса ставится задача интегрирования надежности систем и инструментария дисциплин математического цикла. Элементы теории вероятностей, математической статистики и дисциплин по изучению надежности механических систем, контроля и диагностики во взаимосвязи позволяют строить математические модели технической системы для оценки критериев надежности [1; 2].

Многочисленные исследования в области надежности показывают, что большая часть отказов сложных систем связана с недостаточным учетом факторов на этапах проектирования систем, что определяет необходимость глубокого изучения теории надежности в техническом вузе, значимость приобретения навыков применения базовых знаний по критериям надежности.

Показатели надежности технических систем выражаются через показатели надежности подсистем, которые, в свою очередь, состоят из других базовых компонентов.

Одной из частных задач диагностики технических систем является задача подбора структурных схем для выигрыша в надежности. Выбор схемного решения представляет собой сложную инженерную задачу, требующую комплексного анализа.

Большой вклад в развитие теории структурного резервирования внесли российские ученые: вероятностные методы оценки надежности резервированных систем (Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев), классификация видов резервирования (И.А. Ушаков), новые подходы к оптимизации резервирования (А.М. Половко). К современным исследованиям относятся задачи поиска новых моделей оценки надежности для теплого резервирования (В.И. Левин, В.А. Козлов), методика выбора резервирования

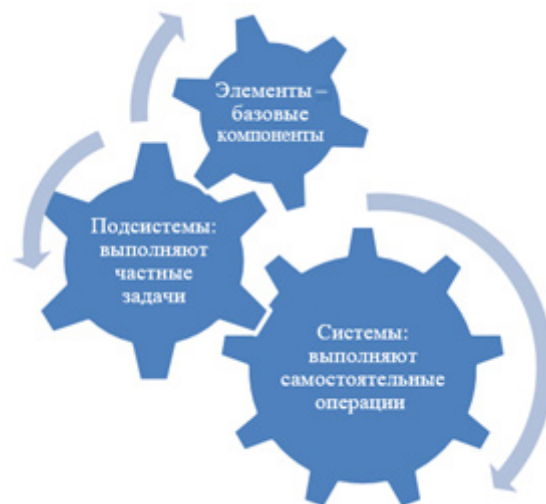


Рис. 1. Иерархические уровни для структурных схем



Рис. 2. Исходные данные для построения структурной схемы

для космических систем, экономическая эффективность разных типов резервирования.

Можно выделить следующие основные исходные данные для проектирования оптимальной структуры (рис. 2).

Оптимальной считается такая структурная схема, которая имеет минимальное число элементов и удовлетворяет требованиям надежности.

Решая задачу подбора оптимальной структурной схемы, необходимо провести сравнительный анализ критериев надежности систем при различных видах структурного резервирования.

Сформулируем основные этапы работы по выбору оптимальной структурной схемы:

- рассчитать показатели надежности исходной системы (вероятность безотказной работы $P(t)$, среднее время до первого отказа и др.);
- разработать алгоритм синтеза оптимальной структуры или алгоритм последовательного повышения надежности элементов [3].

В качестве исходных данных могут быть представлены:

- различные схемы резервирования одинаковой размерности, то есть одинакового количества основных элементов и резервных элементов и одинаковой надежности;

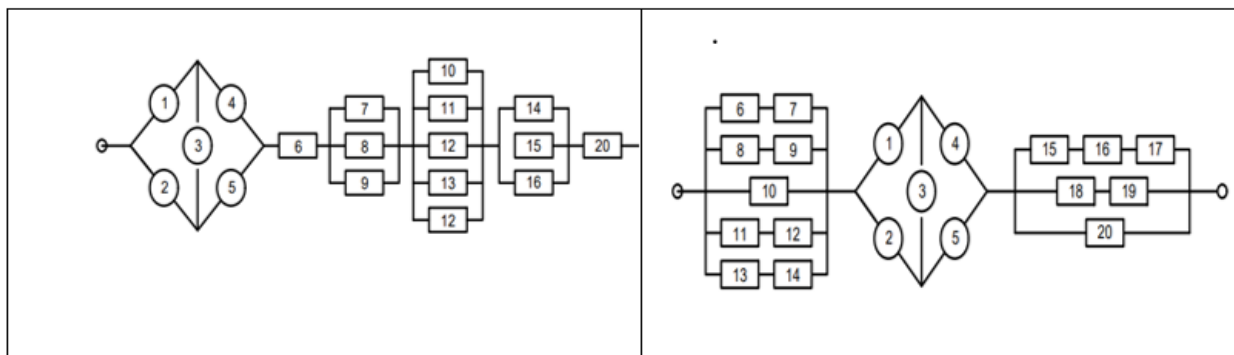


Рис. 3. Примеры различных схемных решений

– закон распределения времени безотказной работы элементов системы (предполагается, что все элементы системы имеют одинаковый закон распределения времени до отказа).

За критерий качества резервирования принимается выигрыш надежности. Выигрышем надежности называется отношение количественной характеристики надежности резервированного устройства к той же количественной характеристике нерезервированного устройства или устройства с другим видом резервирования.

Необходимо сравнить характеристики по надежности и определить величину выигрыша более надежной системы по отношению к менее надежной. Например, выигрыш системы по вероятности безотказной работы оценивается по величине $G(t) = (P_1(t))/(P_2(t))$, где $P_1(t)$, $P_2(t)$ – вероятности безотказной работы системы с различной структурной схемой [4].

Расчет вероятности безотказной работы систем последовательно-параллельной структуры с использованием аналитических методов требует привлечения программных средств, особенно при больших значениях основных и резервных элементов. Формулы для расчета характеристик надежности встроены в различные программные продукты, но только непосредственная работа с ними поможет студенту технического вуза оценить вес каждого параметра при оценке надежности.

Резервирование остается самым оперативным и действенным средством обеспечения требуемой надежности систем. Существует много разновидностей соединений. В данной работе сравниваемые структуры: общее и раздельное при постоянно включенном резерве и по способу замещения (нагруженный, ненагру-

женный), скользящее резервирование, дробное резервирование.

Методика решения задачи синтеза структуры системы построена на следующих последовательных шагах:

- анализ надежности исходной системы (рассмотрим последовательное соединение элементов);
- определение показателей надежности при минимальном числе резервных элементов (вероятность безотказной работы);
- сравнение показателей надежности системы для выбора оптимальной структуры.

В качестве параметров для сравнения можно выделить основные (вероятность безотказной работы, среднее время до первого отказа, интенсивность отказа и восстановления) и дополнительные (сложность обслуживания, число ремонтных бригад, стоимость дублирования подсистем и т.д.).

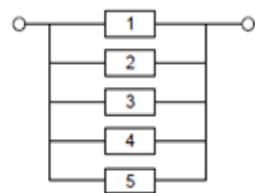
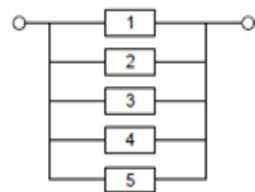
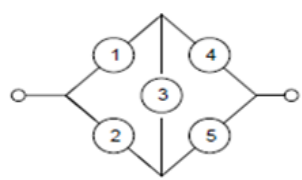
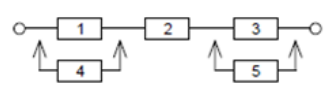
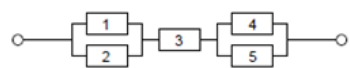
Проведем оценку надежности по критерию вероятности безотказной работы при единых условиях для всех систем: вероятность безотказной работы элемента – 90 %; количество элементов – 5; время восстановления – 100 ч. Также можно учитывать время восстановления, период анализа и т.д.

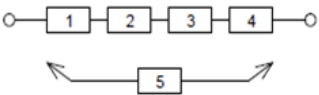
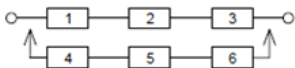
Структурные схемы этих видов резервирования представлены в табл. 1.

Выигрыш надежности параллельного соединения относительно последовательного одного и того количества элементов одинаковой вероятности безотказной работы $p(t) = 0,9$ составляет $G(t) = P_{\text{параллельное}}(t)/(P_{\text{последовательное}}(t)) = 0,999/0,590 = 1,69$.

Более наглядное представление дает графическое представление вероятностей безотказной работы системы: самая низкая надежность у

Таблица 1. Расчет критериев надежности при различных схемных решениях

Структурная схема	Оценка вероятности безотказной работы
Последовательное соединение 	$P(t) = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cong 0,590$
Параллельное соединение 	$P(t) = 1 - 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cong 0,999$
Дробное резервирование 2/3, $l = 5$, $h = 3$, $p_0(t) = 0,9$ 	$P_c(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i p_0^{l-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_0^j(t)$ $P_c(t) = \sum_{i=0}^2 C_5^i p_0^{5-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_0^j(t)$ $P_c(t) \cong 0,991$
Мостиковая структура, относительно элемента «3» 	$P_c(t) = p_3(1 - q_1q_2) \cdot (1 - q_4q_5) + q_3(1 - (1 - p_1p_4)(1 - p_2p_5))$ Пусть $p_i(t) = 0,9$, $i = 1, 2, 3, 4, 5$. $P_c(t) \cong 0,978$
Раздельное резервирование замещением, нагруженный резерв (горячий) 	Пусть $p_i(t) = 0,9$, $i = 1, 2, 3, 4, 5$. $P_c(t) = \prod_{i=1}^n (1 - (1 - p_i(t))^{m_i+1})$ $P_c(t) \cong 0,882$
Система с приведенной структурой 	$P_c(t) = (1 - q_1q_2) \cdot p_3 \cdot (1 - q_4q_5)$ Пусть $p_i(t) = 0,9$, $i = 1, 2, 3, 4, 5$. $P_c(t) \cong 0,882$

Скольльзящее резервирование 	Пусть $p_i(t)=0.9$, $i = 1,2,3,4,5$. $m_0 = 1$ – число резервных элементов, n – число основных элементов. Если время эксплуатации $t=100$ ч, то $\lambda \cong 0,001 \frac{1}{\text{час}}$. $P_c(t) = e^{-\lambda \cdot n \cdot t} \sum_{i=0}^{m_0} \frac{(\lambda \cdot n \cdot t)^i}{i!},$ $P_c(t) \cong 0,941$
Общее резервирование замещением, ненагруженный резерв (холодный) 	Пусть $p_i(t)=0.9$, $i = 1,2,3,4,5$. $n = 3$ – число основных элементов, $m = 1$ – кратность резервирования. Если время эксплуатации $t=100$ ч, то $\lambda \cong 0,001 \frac{1}{\text{час}}$. $P_c(t) = e^{-\lambda \cdot n \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot n \cdot t)^i}{i!},$ $P_c(t) \cong 0,965$

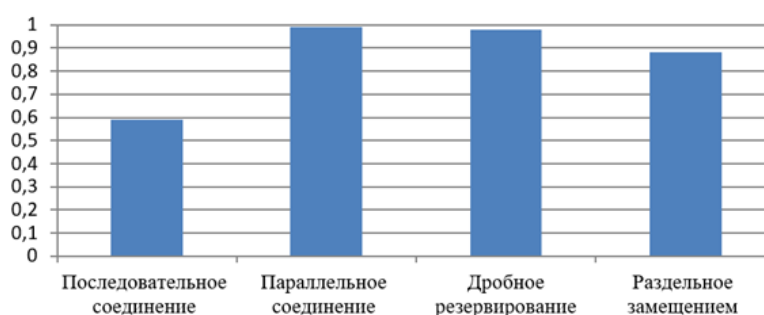


Рис. 4. Значение вероятности безотказной работы

последовательного соединения, наивысшая надежность у параллельного соединения (горячее резервирование), остальные структурные соединения дают средние показатели. Однако при оценке надежности следует учитывать и другие факторы: простоту в реализации и минимальную стоимость последовательного соединения, максимальные затраты при горячем резервировании и минимальный промежуток времени для переключения, усредненные значения данных параметров по другим соединениям.

Полученные результаты позволяют стро-

ить графики вероятностей безотказной работы систем, сравнивать их по надежности и определять величину выигрыша более надежной системы по отношению к менее надежной. Расчеты следует проводить при различных объемах выборочной совокупности и оценивать сходимость полученных показателей надежности к истинным значениям.

В условиях возрастающей сложности современных технических систем проблема обеспечения надежности приобретает особую значимость. Российская школа имеет значи-

тельные достижения в теории резервирования, и определяет значимость формирования умений по вопросам контроля и диагностики технических систем на этапе обучения в техническом вузе.

Список литературы

1. Азизян, И.А. Формирование профессиональных качеств будущих инженеров в области теории надежности в ходе изучения распределения вероятностей / И.А. Азизян, Е.И. Миронова // Высшее образование сегодня. – 2019. – № 8. – С. 33–38.
2. Азизян, И.А. Исследование функции риска как необходимый инструмент диагностики и контроля функционирования систем в области машиностроения / И.А. Азизян // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – № 1(149). – С. 35–43.
3. Половко, А.М. Основы теории надежности. Практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
4. Половко, А.М. Derive 5 для студента / А.М. Половко. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 352 с.
5. Курицкий, В.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel / В.Я. Курицкий. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. – 384 с.
6. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
7. Беляев, Ю.К. Надежность технических систем / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин. – Москва : Радио и связь, 1985. – 608 с.
8. Алон, Н. Вероятностный метод: учебное пособие / Н. Алон, Д. Спенсер. – М. : Бином, 2011. – 320 с.
9. Ушаков, И.А. Курс теории надежности систем / И.А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с.
10. Острейковский, В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М. : Высшая школа, 2003. – 463 с.
11. Потапова, Н.В. Педагогическая наука о проблеме развития надпрофессиональных навыков студентов / Н.В. Потапова, Т.С. Панина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 2. – С. 93–98.
12. Яхьяев, Н.Я. Основы теории надежности: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М. : Издательский центр «Академия», 2014. – 208 с.

References

1. Azizyan, I.A. Formirovaniye professional'nykh kachestv budushchikh inzhenerov v oblasti teorii nadezhnosti v khode izucheniya raspredeleniya veroyatnostey / I.A. Azizyan, Ye.I. Mironova // Vyssheye obrazovaniye segodnya. – 2019. – № 8. – S. 33–38.
2. Azizyan, I.A. Issledovaniye funktsii riska kak neobkhodimyy instrument diagnostiki i kontrolya funktsionirovaniya sistem v oblasti mashinostroyeniya / I.A. Azizyan // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2022. – № 1(149). – S. 35–43.
3. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadezhnosti. Praktikum / A.M. Polovko, S.V. Gurov. – Sankt-Peterburg : BKHV-Peterburg, 2006. – 560 s.
4. Polovko, A.M. Derive 5 dlya studenta / A.M. Polovko. – Sankt-Peterburg : BKHV-Peterburg, 2005. – 352 s.
5. Kuritskiy, V.YA. Poisk optimal'nykh resheniy sredstvami Excel / V.YA. Kuritskiy. – Sankt-Peterburg : BKHV-Peterburg, 2018. – 384 s.
6. Gnedenko, B.V. Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti / B.V. Gnedenko, YU.K. Belyayev, A.D. Solov'yev. – M. : Nauka, 1965. – 524 s.
7. Belyayev, YU.K. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem / YU.K. Belyayev, V.A. Bogatyrev, V.V. Bolotin. – Moskva : Radio i svyaz', 1985. – 608 s.

8. Alon, N. Veroyatnostnyy metod: uchebnoye posobiye / N. Alon, D. Spenser. – M. : Binom, 2011. – 320 s.
9. Ushakov, I.A. Kurs teorii nadezhnosti sistem / I.A. Ushakov. – M. : Drofa, 2008. – 239 s.
10. Ostreykovskiy, V.A. Teoriya nadezhnosti / V.A. Ostreykovskiy. – M. : Vysshaya shkola, 2003. – 463 s.
11. Potapova, N.V. Pedagogicheskaya nauka o probleme razvitiya nadprofessional'nykh navykov studentov / N.V. Potapova, T.S. Panina // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 2. – S. 93–98.
12. Yakh'yayev, N.YA. Osnovy teorii nadezhnosti: uchebnik dlya studentov uchrezhdeniy vysshego professional'nogo obrazovaniya / N.YA. Yakh'yayev, A.V. Korablin. – M. : Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2014. – 208 s.

© И.А. Азизян, С.С. Карабанова, И.С. Попов, 2025

УДК 51.74

*И.А. АЗИЗЯН, Е.И. МИРОНОВА, А.С. СИВИРКИНА**Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва*

ОЦЕНКА РИСКОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: диагностика; контроль; проектная деятельность; функция риска.

Аннотация. Актуальность работы: перед инженером всегда стоит задача преобразования технической системы для усовершенствования и унификации. Проектная деятельность в техническом вузе является базой для формирования аналитических, организационных, управленческих функций будущего инженера – конкурентоспособного специалиста.

Цель работы – обосновать значимость оценки функции риска в вопросах контроля и диагностики надежности при проектировании технических систем.

Методы исследования: исследование функции риска проводится на основе сравнительного анализа контрольной и усовершенствованной системы относительно основных критериев надежности.

Результаты: представлен математический аппарат для исследования функции риска при различных условиях реализации диагностики технической системы (рассмотрены системы с восстановлением и без восстановления, с резервированием и без учета дублирующих элементов).

Проектная деятельность в высшем учебном заведении нацелена на развитие у студентов самостоятельных исследовательских навыков, что способствует формированию творческих способностей и логического мышления, а также функциональной грамотности. Это предполагает умение применения теоретических знаний для решения конкретных практических задач. Ключевые элементы проектной деятельности включают анализ проблемы, постановку цели,

выбор методов достижения этой цели, сбор и обработку этой информации, а также ее анализ, синтез, оценку результатов и формирование выводов.

Проектная деятельность играет ключевую роль в развитии профессиональных умений, так как, будучи инновационной, она нацеливает современных студентов не только на запоминание знаний, но и на развитие навыков, необходимых для улучшения реальных процессов с использованием соответствующих технологий.

Проектирование технической системы является одной из наиболее реализуемых задач в ходе проектной деятельности в техническом вузе. Осознание рисков, связанных с работой технической системы, а также использование студентами знаний и навыков, полученных в ходе изучения теории надежности и других предметов, играют важную роль в формировании профессиональных компетенций выпускника технического вуза.

Представим основные этапы оценки риска:

- разработка структурной схемы технической системы, отказ которой приводил бы к риску (не более заданного);
- определение показателей надежности исходной системы, суммарный риск из-за ее отказа и аналогичные показатели новой системы с учетом усовершенствования;
- разработка структурной схемы системы для получения оптимального результата, риск которой меньше исходной (с наперед заданным коэффициентом);
- оценка влияния восстановления на надежность и риск системы (случай ограниченного и неограниченного восстановления);
- определение вероятности безотказной работы и техногенный риск системы.

Рассмотрим ряд частных задач, которые по-

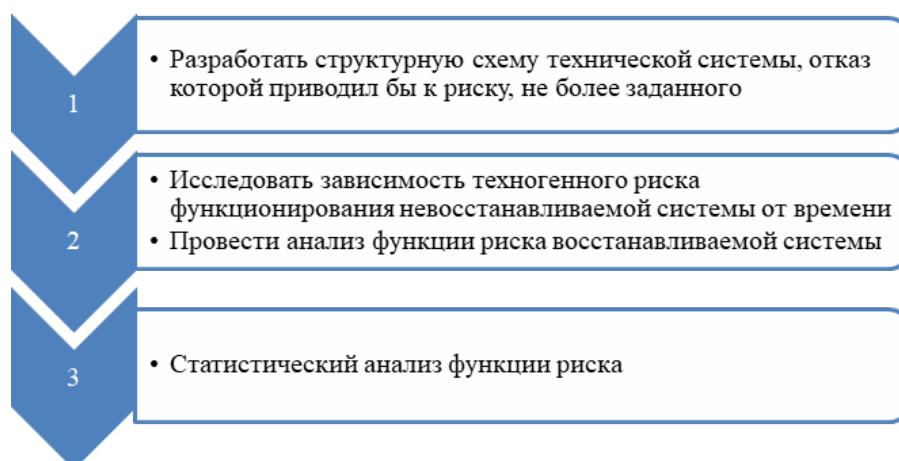


Рис. 1. Задачи оценки функции риска

Таблица 1. Исходные данные

Структурная схема системы (последовательное соединение элементов)	
$n = 4$	Число элементов системы
T_i	Среднее время безотказной работы i -го элемента, $i = 1, 2, 3, 4$ $T_1 = 3$ года, $T_2 = 15$ лет, $T_3 = 6$ лет, $T_4 = 10$ лет
r_i , усл. ед.	Риск из-за отказа i -го элемента, $i = 1, 2, 3, 4$ $r_1 = 10$, $r_2 = 100\,000$, $r_3 = 40$, $r_4 = 1\,000$
$t = 1$ год	Время непрерывной работы системы
$m = 100$	Коэффициент уменьшения риска в результате повышения надежности системы
$T_{вi}$, час	Среднее время ремонта i -го элемента, $i = 1, 2, 3, 4$ $T_{в1} = 1$, $T_{в2} = 240$, $T_{в3} = 2$, $T_{в4} = 48$
Приоритет	Назначенный (первым ремонтируется элемент с большим риском, полностью ограниченное восстановление

могут в диагностике надежности проектируемой технической системы в рамках проектной деятельности.

Задача 1. Разработать структурную схему технической системы, отказ которой приводил бы к риску (не более заданного). Исходные данные представлены в табл. 1.

Для оценки риска исходной системы необходимо определить показатели надежности в пределах заданного времени: вероятность безотказной работы; среднее время до первого от-

каза; интенсивность отказов.

Результаты расчетов характеристик надежности по результатам эксплуатации через год представлены в табл. 2.

Так как риск системы через год эксплуатации равен $R(1) = 4\,946$, то следующий этап в решении поставленной задачи заключается в разработке структурной схемы системы, риск которой в 100 раз меньше риска исходной системы, то есть контрольное число риска – 49,46. Так как приоритет обслуживания назначенный,

Таблица 2. Числовые характеристики надежности

Показатели надежности	Числовые значения
$\lambda_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^4 \lambda_i, \text{ где}$ $\lambda_i = \frac{1}{T_i}$	$\lambda_{\text{сист}} \approx 0,67 \frac{1}{\text{час}}$
$T_{\text{сист}} = \frac{1}{\lambda_{\text{сист}}}$	$\approx 1,5 \text{ год}$
$P_{\text{сист}} = e^{-\lambda_{\text{сист}} \cdot t}$	$\approx 0,51$
$R(t) = \sum_{i=1}^4 r_i \lambda_i \frac{1 - e^{-\lambda_{\text{сист}} t}}{\lambda_{\text{сист}}}$	$R(1) = 4 \ 946$

Таблица 3. Параметры структурной схемы

№	n/m	R	n/m	R	n/m	R	n/m	R
1	1/0	946	1/0	366	1/0	10	1/0	32
2	1/0		1/1		1/2		1/2	
3	1/0		1/0		1/0		1/0	
4	1/0		1/0		1/0		1/1	

Таблица 4. Анализ систем

Исходная система	1	0,94	0,88	0,82	0,77	0,67	0,63	0,59	0,55	0,51
Усовершенствованная система	1	0,95	0,9	0,85	0,82	0,78	0,74	0,67	0,63	0,6

то в таблице представлены результаты усиления тех элементов, которые обладают наибольшим риском. Для этого параллельно к элементу под соответствующим номером добавляется равнонадежный к нему элемент. n/m – количество основных и дублирующих элементов, R – риск системы. Значения основных параметров структурной схемы представлены в табл. 3.

Значения функции вероятности безотказной работы системы относительно времени с шагом

0,1 в диапазоне 0 до 1.

Наглядное представление динамики изменения функции вероятности исходной и усовершенствованной систем – на рис. 2 (ось абсцисс – t , лет).

Резервирование позволяет значительно повысить надежность технической системы, но приводит к удорожанию техники и ее последующей эксплуатации. В математических моделях можно диагностировать работу системы

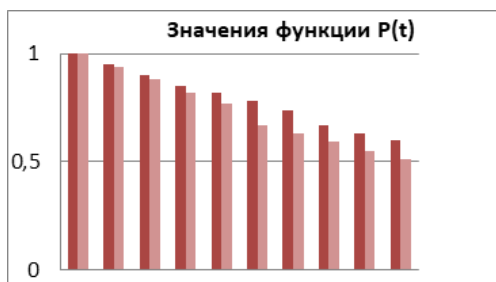


Рис. 2. Значения функции вероятности

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	n	10		1	1,2	0,8	0,5	1	1,5	0,6	0,09	0,05	1	1,5	
2	T	1000	r		2000	300	8000	1000	1200	50	5000	6000	100	120	
3	R	5000													
4															
5				λ _к	2400	240	4000	1000	1800	30	450	300	100	180	
6															
7															
8	Σλ	8,24E-05				T1=	12135,92		Pc(T)=	0,920804					
9									Pc(T1)=	0,367879					
10	Σλ _к	0,105							Rc(T)=	100,7904					
11									Rc(T1)=	605,4934					
12															

Рис. 3. Значения функции вероятности

и спрогнозировать риск выхода из строя с учетом разной кратности резервирования, но на практике чаще реализуется дублирование. Резервирование замещением дает максимальный выигрыш надежности, но для практической реализации необходимо установить автомат контроля состояния системы и коммутации при отказе работающей системы. Отрицательная сторона данного резервирования – снижение производительности системы из-за того, что резервные элементы находятся в режиме ожидания до замещения. Решение данной задачи позволит оценить эффективность резервирования как средства повышения надежности и снижения риска техники.

Задача 2. Исследовать зависимость техногенного риска функционирования восстанавливаемой системы от времени. Провести анализ функции риска восстанавливаемой системы.

Риск системы $Rc(t)$ ($Rc(t)^*$ – приближенное значение) можно определить относительно вероятности безотказной работы системы (вероятности отказов) и интенсивности отказов системы:

$$Rc(t) = \frac{Q_c(t)}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i.$$

Их зависимость находится следующим об-

разом [3]:

$$G_R(t, n) = \frac{R_c(t)}{R_c^*(t)} = \frac{1 - e^{-n\lambda t}}{n(1 - e^{-\lambda t})}.$$

Если все элементы системы равнонадежны, то функция риска представляется в виде:

$$R_c(t) = \frac{1 - e^{-n\lambda t}}{n\lambda} \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i.$$

Предположим что дана система со следующими исходными данными: число элементов системы $n = 10$; время непрерывной работы $T = 1\,000$ час; допустимый риск $R = 5\,000$ условных единиц (усл. ед.). Расчеты промежуточных значений критериев надежности (на основе Excel) представлены в рис. 3.

Зависимость $Rc(t)$ при различных значениях n в виде графика дает возможность качественного анализа. Риск возрастает с увеличением времени функционирования системы t . Так, например, с увеличением с 1 500 до 12 000 часов риск увеличивается с 150 до 800 условных единиц.

Следовательно, по мере увеличения времени работы системы техногенный риск ее

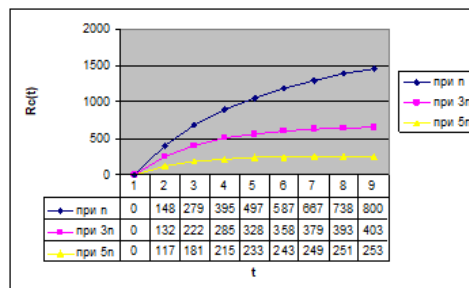


Рис. 4. График функции риска

функционирования возрастает и стремится к стабильному уровню, который соответствует среднему значению риска.

Ключевыми показателями надежности восстанавливаемых технических систем являются наработка на отказ, функция готовности и коэффициент готовности. Эти показатели, как правило, зависят от интенсивности отказов и восстановлений элементов системы, времени их бесперебойной работы, а также типа и частоты резервирования. При анализе коэффициента готовности, интенсивности отказов, допустимого риска, риска отдельных элементов и риска всей системы можно использовать двойное неравенство для оценки:

$$K_r t \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \cdot 10^{-4} \leq R(t) \leq t \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \cdot 10^{-4}.$$

Риск системы можно приблизительно оценить как среднее арифметическое всех полученных оценок. Если техногенный риск меньше допустимого уровня, то такая система годится для эксплуатации.

В ходе исследования функции риска для диагностики надежности проектируемой восстанавливаемой системы можно сделать несколько выводов:

- время наработки на отказ восстанавливаемой резервированной системы не зависит от процесса восстановления и соответствует среднему времени безотказной работы аналогичной невосстанавливаемой системы;
- риск восстанавливаемой нерезервированной системы можно легко рассчитать с помощью простых двусторонних оценок и рассматриваемая система соответствует требованиям по уровню риска;
- длительность переходных процессов в системе невелика; когда общее время функцио-

нирования соотносится с наработкой на отказ, функция и коэффициент готовности совпадают;

- для высоконадежной системы риск возрастает линейно с течением времени и определяется исключительно надежностью оборудования, почти не завися от интенсивности ее восстановления.

Задача 3. Статистический анализ функции риска.

Функцию риска следует учитывать как при контроле, так и при диагностике надежности в процессе статистической обработки данных. Рассмотрим задачу о принятии или отклонении изделий: цель контроля надежности заключается в проверке гипотезы о том, что уровень надежности не ниже установленного порога. Поскольку контроль надежности основывается на испытании выборки, при принятии решений возможны два типа ошибок: а) ошибка первого рода – качественная партия отклоняется (вероятность этой ошибки называется риском для поставщика); б) ошибка второго рода – некачественная партия принимается (вероятность этой ошибки называется риском для заказчика).

Умение правильно оценивать соотношение объема партий, количества дефектных изделий, а также приемочных и браковочных значений контролируемого параметра позволит минимизировать риск принятия ошибочных решений как в учебном процессе, так и в профессиональной деятельности.

Профессиональные компетенции, формируемые в процессе изучения теоретических и практических аспектов управления рисками при диагностике надежности технических систем, включают в себя широкий спектр умений и способностей. Создание этого комплекса основано на знании основных понятий будущими инженерами, их способности проводить вероят-

ностные и статистические расчеты в стандартных условиях, давать осмысленное толкование результатов расчетов и обрабатывать эмпири-

ческие и экспериментальные данные с использованием современных компьютерных технологий.

Список литературы

1. Азизян, И.А. Формирование профессиональных качеств будущих инженеров в области теории надежности в ходе изучения распределения вероятностей / И.А. Азизян, Е.И. Миронова // Высшее образование сегодня. – 2019. – № 8. – С. 33–38.
2. Азизян, И.А. Исследование функции риска как необходимый инструмент диагностики и контроля функционирования систем в области машиностроения / И.А. Азизян // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – № 1(149). – С. 35–43.
3. Половко, А.М. Основы теории надежности. Практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
4. Курицкий, В.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel / В.Я. Курицкий. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. – 384 с.
5. Алон, Н. Вероятностный метод: учебное пособие / Н. Алон, Д. Спенсер. – М. : Бинوم, 2011. – 320 с.
6. Ушаков, И.А. Курс теории надежности систем / И.А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с.
7. Острейковский, В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М. : Высшая школа, 2003. – 463 с.
8. Яхьяев, Н.Я. Основы теории надежности: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М. : Издательский центр Академия, 2014. – 208 с.

References

1. Azizyan, I.A. Formirovaniye professional'nykh kachestv budushchikh inzhenerov v oblasti teorii nadezhnosti v khode izucheniya raspredeleniya veroyatnostey / I.A. Azizyan, Ye.I. Mironova // Vyssheye obrazovaniye segodnya. – 2019. – № 8. – S. 33–38.
2. Azizyan, I.A. Issledovaniye funktsii riska kak neobkhodimyy instrument diagnostiki i kontrolya funktsionirovaniya sistem v oblasti mashinostroyeniya / I.A. Azizyan // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2022. – № 1(149). – S. 35–43.
3. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadezhnosti. Praktikum / A.M. Polovko, S.V. Gurov. – Sankt-Peterburg : BKHV-Peterburg, 2006. – 560 s.
4. Kuritskiy, V.YA. Poisk optimal'nykh resheniy sredstvami Excel / V.YA. Kuritskiy. – Sankt-Peterburg : BKHV-Peterburg, 2018. – 384 s.
5. Alon, N. Veroyatnostnyy metod: uchebnoye posobiye / N. Alon, D. Spenser. – M. : Binom, 2011. – 320 s.
6. Ushakov, I.A. Kurs teorii nadezhnosti sistem / I.A. Ushakov. – M. : Drofa, 2008. – 239 s.
7. Ostreykovskiy, V.A. Teoriya nadezhnosti / V.A. Ostreykovskiy. – M. : Vysshaya shkola, 2003. – 463 s.
8. Yakh'yayev, N.YA. Osnovy teorii nadezhnosti: uchebnyk dlya studentov uchrezhdeniy vysshego professional'nogo obrazovaniya / N.YA. Yakh'yayev, A.V. Korablin. – M. : Izdatel'skiy tsentr Akademiya, 2014. – 208 s.

© И.А. Азизян, Е.И. Миронова, А.С. Сивиркина, 2025

УДК 621.643

И.А. ПОГРЕБНАЯ, С.В. МИХАЙЛОВА, А.С. ФУЧЕДЖИ

Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Нижневартовск

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ключевые слова: нефть; перекачка; полиэтиленовый; стальной; транспортировка; труба; трубопровод.

Аннотация. Самым популярным материалом для изготовления нефтепроводов является сталь различных марок, но стальные трубы имеют большой недостаток: они подвержены коррозии и эрозии. В то время как трубы из полиэтилена не подвергаются коррозии, что может существенно улучшить технологические процессы по транспортировке нефти и нефтепродуктов. Цель – рассмотреть применение труб из полиэтилена с целью транспортирования по ним нефтепродуктов. В основе метода мы рассматриваем применение неметаллических материалов. Результат: для выбора материала нефтепровода были проведены испытания на выявление разрушения внутренних стенок труб (гидроабразивный и абразивный износ). При исследовании рассмотрены трубы из стали, асбестоцемента, стеклопластика, бетона, керамики, поливинилхлорида (ПВХ) и полиэтилена повышенной прочности (ПЭВП). Из проведенных испытаний было выявлено, что менее склонными к износу являются трубы из ПЭВП. Преимуществами полиэтиленовых труб (ПТ) являются: долговечность, срок службы около 50 лет, способность к гибкости, устойчивость к абразивам.

тируется по ним [1; 2].

Продукты коррозии не прикрепляются ко внутренней стенке ПТ, за счет чего пропускная способность данных труб не уменьшается на протяжении всего срока эксплуатации.

Средний срок службы труб из стали для нефтегазового транспорта составляет 10–15 лет, а труб из полиэтилена – около 50 лет и зависит от многих факторов, таких как: условия при эксплуатации (применяемые давление, температура и химический состав транспортируемого материала), качество используемого материала для труб, качество строительно-монтажных работ [3; 4].

Высокая коррозионная стойкость – не единственное преимущество ПТ. Также преимуществами ПТ являются долговечность (как было выше сказано, срок службы ПТ равен 50 годам), способность к гибкости (дает возможность самостоятельно изгибаться в нужном направлении в зависимости от профиля траншеи), пропускная способность (из-за отсутствия возможности прикрепления механических примесей к стенкам), стойкость к абразивам (ПТ имеют высокую плотность, благодаря которой ПТ имеют высокую устойчивость к абразивам в транспортируемом продукте по сравнению с трубами из других материалов), а также то, что они оказывают сопротивление к «утечкам» токов (для ПТ не нужны станции электрохимических заводов (ЭХЗ), в отличие от стальных труб (СТ) [5].

У ПТ имеется ряд недостатков, таких как ограниченная рабочая температура, которая сужает область применения данных труб; ограниченная стойкость к некоторым химическим веществам; небольшая прочность по сравне-

Введение

Трубы из полиэтилена (ПЭ) (рис. 1) имеют высокую коррозионную стойкость к агрессивным веществам в продукции, которая транспор-



Рис. 1. Промысловая фотография общего вида ПТ

Таблица 1. Рабочие характеристики ПТ

Марка	Параметр	Значение
ПЭ80	Рабочее давление	От 0,25 до 1,6 МПа
	Максимальная рабочая температура	Постоянная до 40 °С, кратковременная до 80 °С
	Наружный диаметр	От 16 до 1 200 мм
	Толщина стенок	от 2 до 69 мм
	<i>SDR</i> (стандартный размерный коэффициент) – отношение внешнего диаметра трубы к ее стенке	от 9 до 26
	Прочность	Не более 80 МПа
ПЭ100	Рабочее давление	От 0,25 до 2,25 МПа
	Максимальная рабочая температура	Постоянная до 40 °С, кратковременная до 80 °С
	Наружный диаметр	От 16 до 1200 мм
	Толщина стенок	От 2 до 75 мм
	<i>SDR</i> (стандартный размерный коэффициент) – отношение внешнего диаметра трубы к ее стенке	от 9 до 26
	Прочность	Не более 100 МПа
ПЭ63	Рабочее давление	От 0,25 до 1,6 МПа
	Максимальная рабочая температура	Постоянная до 40 °С, кратковременная до 80 °С
	Наружный диаметр	От 16 до 1200 мм
	Толщина стенок	От 2 до 57 мм
	<i>SDR</i> (стандартный размерный коэффициент) – отношение внешнего диаметра трубы к ее стенке	От 9 до 26
	Прочность	Не более 63 МПа

нию со сталью, что может снизить применение ПТ в условиях высокого давления; склонность к деформациям при больших нагрузках или при критично-высоких температурах; склон-

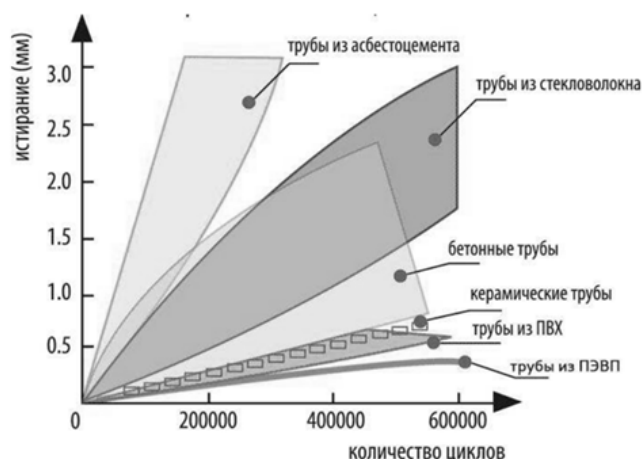


Рис. 2. Результаты испытания на гидроабразивный износ

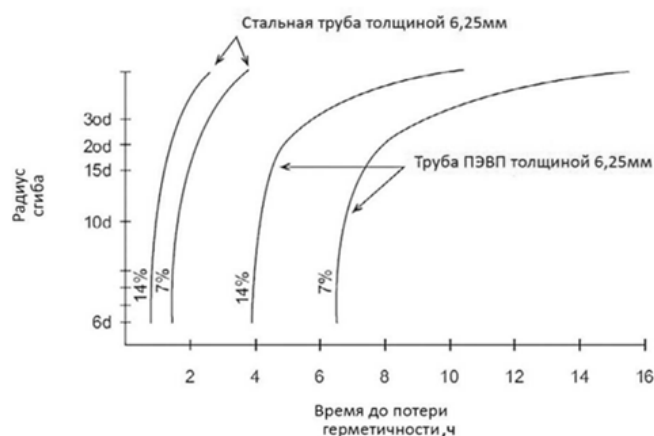


Рис. 3. Результаты испытания на абразивный износ

ность к небольшому разрушению при воздействии ультрафиолетового излучения, что требует защиты при монтаже ПТ на открытом воздухе.

Монтаж ПТ осуществляется по тем же этапам, что и СТ. При монтаже и демонтаже ПТ необходимо тщательно проверять их на наличие механических повреждений и деформаций.

Используется два способа соединения ПТ между собой.

1. Неразбираемые соединения, которые применяются для долговременного использования нефтепровода. Производятся при помощи сварочного аппарата или электрических муфт, которые надеваются на оба стыкуемых торца и прогреваются под высокой температурой. Этот способ обеспечивает прочность и герметиза-

цию соединения.

2. Разбираемые (временные) соединения: фланцевое или раструбное. Применяются для временного нефтепровода. Позволяют легко и в короткое время осуществлять ремонты, а также производить замену поврежденного участка нефтепровода.

Часто используемые марки полиэтилена для труб: ПЭ80, ПЭ100, ПЭ63.

В табл. 1 приведены рабочие характеристики ПТ различных марок.

Для выбора материала нефтепровода были проведены испытания на гидроабразивный (рис. 2) и абразивный (рис. 3) износ (выявление разрушения внутренних стенок труб). В исследовании участвовали трубы из стали, асбестоцемента, стеклопластика, бетона, керамики,

ПВХ и ПЭВП.

Из проведенных испытаний было выявлено, что менее склонными к износу являются трубы из ПЭВП, остальные трубы проявили себя намного хуже.

ПТ с маркой ПЭ100 относятся к классу высокопрочных труб и считаются качественнее, так как исключают возможность растрескивания трубы, за счет этого трубы данной марки полиэтилена (ПЭ) рекомендуются применять для напорных систем. Для изготовления ПТ с маркой ПЭ80 используется вторично переработанный ПЭ, из-за чего ПТ считаются менее прочными, чем ПТ с мар-

кой ПЭ100.

Вывод

В заключение отметим, что ПТ могут успешно применяться в нефтяной и газовой промышленности в качестве магистрального нефтегазопровода.

Эффективность применения ПТ обусловлена высокими рабочими характеристиками, ускоренным и простым строительством, относительно низкой стоимостью труб и монтажа и долговременными сроками службы.

Список литературы

1. Гоник, А.А. Коррозия нефтепромыслового оборудования и меры ее предупреждения / А.А. Гоник. – М. : Недра, 1976. – 192 с.
2. Агапчев, В.И. Новая технология диагностирования нефтепромысловых трубопроводов из полимерных материалов / В.И. Агапчев [и др.] // Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта: материалы научно-практического семинара, Киев, 11 апреля 2006 года. – Киев, 2006. – С. 68–69.
3. Леонова, А.Е. Эффективность методов повышения надежности промысловых трубопроводов в Западной Сибири / А.Е. Леонова, И.А. Погребная, С.В. Михайлова // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: материалы IX Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых, Нижневартовск, 25 апреля 2019 года / отв. ред. Ю.Б. Чебыкина. – Нижневартовск : Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 42–45.
4. Погребная, И.А. Анализ мероприятий при ремонте трубопроводного транспорта / И.А. Погребная, С.Т. Полищук, С.В. Михайлова // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 02–03 ноября 2017 года. Т. 1. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 181–183.
5. Гребенькова, Г.Л. Анализ работоспособности коррозионностойких трубопроводов / Г.Л. Гребенькова и др. // Нефтегазовое дело. – 2004.

References

1. Gonik, A.A. Korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya i mery yeye preduprezhdeniya / A.A. Gonik. – M. : Nedra, 1976. – 192 s.
2. Agapchev, V.I. Novaya tekhnologiya diagnostirovaniya neftepromyslovykh truboprovodov iz polimernykh materialov / V.I. Agapchev [i dr.] // Obespecheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti sistem truboprovodnogo transporta: materialy nauchno-prakticheskogo seminar, Kiyev, 11 aprelya 2006 goda. – Kiyev, 2006. – S. 68–69.
3. Leonova, A.Ye. Effektivnost' metodov povysheniya nadezhnosti promyslovykh truboprovodov v Zapadnoy Sibiri / A.Ye. Leonova, I.A. Pogrebnaya, S.V. Mikhaylova // Opyt, aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa: materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii obuchayushchikhsya, aspirantov i uchenykh, Nizhnevartovsk, 25 aprelya 2019 goda / отв. red. YU.B. Chebykina. – Nizhnevartovsk : Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 2019. – S. 42–45.
4. Pogrebnaya, I.A. Analiz meropriyatiy pri remonte truboprovodnogo transporta / I.A. Pogrebnaya,

S.T. Polishchuk, S.V. Mikhaylova // Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Tyumen', 02–03 noyabrya 2017 goda. T. 1. – Tyumen' : Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 2017. – S. 181–183.

5. Greben'kova, G.L. Analiz rabotosposobnosti korrozionnostoykikh truboprovodov / G.L. Greben'kova i dr. // Neftegazovoye delo. – 2004.

© И.А. Погребная, С.В. Михайлова, А.С. Фучеджи, 2025

УДК 574.58

Е.В. ШЕПЕЛЬКЕВИЧ, Т.П. ЧУДИНОВА

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Бирск

ВЛИЯНИЕ СТОЧНЫХ ВОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМА

Ключевые слова: биотестирование; гидро-биологический анализ; гидрохимический анализ; индекс токсичности; сточные воды.

Аннотация. Статья посвящена определению влияния городских стоков на водную экосистему реки Белой на основании гидрохимических показателей и биотестирования. Проведены анализ биологической очистки стоков, анализ проб воды на содержание 13 показателей и индекса токсичности.

Цель работы заключается в изучении влияния сточных вод на экологическое состояние реки Белой г. Бирск Республики Башкортостан.

Задачи исследования: определить качество очистки сточных вод Башкоммунводоканала Бирска на основе гидробиологического анализа активного ила и биотестирования, провести гидрохимический анализ проб воды выше и ниже сброса сточных вод.

Гипотеза исследования: сбросы коммунально-бытовых вод играют определенную роль в формировании качественного и количественного состава поверхностных вод.

Методы: химический анализ воды, гидро-биологический анализ, определение острого токсического действия проб воды с помощью тест-объекта инфузории *Paramecium caudatum*.

Результаты и выводы: наличие достаточного количества коловраток и инфузорий свидетельствует о значительной степени формирования активного ила. Состояние ила по иловому индексу говорит о удовлетворительной очистке. Пробы воды выше и ниже сброса сточных вод не превышают значения предельно допустимой концентрации (ПДК), кроме общей жесткости, содержания железа и марганца. Результаты биотестирования показали, что исследуемые пробы не обладают высокой степенью токсичности.

Материалы и методы исследования, отбор проб и хранение проводились согласно ГОСТ

Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». Анализы выполняли в химической лаборатории «Экологического мониторинга окружающей среды» Бирского филиала УУНиТ. Использовали атомно-абсорбционную спектрометрию, фотометрию, титрометрию, потенциометрию, гравиметрию. Количественную оценку параметра тест-реакции, которая характеризует токсическое действие, проводили путем расчета соотношения числа клеток инфузорий, наблюдаемых в контрольной и исследуемой пробах. Концентрацию клеток данных простейших определяли при помощи фотометра «Биотестер-2м» подсчетом клеток под микроскопом по общепринятой методике. Перед проведением биотестирования проводили проверку готовности взвеси культуры к анализу по двум параметрам: чувствительности к модельному токсиканту и степени выхода в контрольную пробу.

Результаты исследования: гидробиологический анализ активного ила является одним из самых оперативных способов контроля работы сооружений биологической очистки, включающей биофильтры [3]. При изучении видового состава аэротенков были выявлены беспозвоночные организмы из четырех классов, входящие в состав трех типов. Корненожки составляют два вида, инфузории – два вида, коловратки – два вида. Динамика численности микроорганизмов по сезонам года варьирует следующим образом: зимой численность вортицеллы, адинеты и пеломикса небольшая – 1 балл. Аспидиска и филодина встречается редко (2 балла). Это объясняется низким температурным режимом окружающей среды.

Осенью численность вортицеллы и адинеты немного увеличивается (2 балла). Численность амёб и ротарий оценивается в 3 балла, аспидиска и филодины – очень редко (1 балл).

Весной численность микроорганизмов начинает расти: вортицеллы, аспидиски, адинеты и филодины встречаются часто (5 баллов), пеломиксы, арцеллы – нередко (3 балла).

Летом динамика численности организмов возрастает: вортицелла встречается часто (5 баллов); адинета – очень часто (7 баллов); филодина – массово (9 баллов); аспидиска – очень часто (7 баллов); пеломикса – очень часто (7 баллов); арцелла – часто (5 баллов).

Обнаруженные организмы активные и находятся в подвижном состоянии, биоценоз активного ила стабильный, имеется несколько трофических уровней, работает эффективно.

Кроме количественного учета численности микроорганизмов были проанализированы доза ила по объему и весу для определения илового индекса, pH , температура. Иловый индекс в течение 2024 г. изменялся в пределах от 109 до 198 $\text{см}^3/\text{г}$. Максимальное среднее значение данного показателя отмечено в январе – 164 $\text{см}^3/\text{г}$, минимальное в августе – 131 $\text{см}^3/\text{г}$. В течение года значения pH меняется незначительно, в пределах от 7,1–7,9. Это говорит о устойчивости среды. Температура изменяется в пределах 6–19 °С. Внешний вид осадка бурокоричневый, что соответствует норме.

Исследования показателей гидрохимического анализа проб воды реки Белой проводились на двух участках: выше и ниже сброса сточных вод на расстоянии 500 метров. Общая жесткость проб воды реки Белой выше и ниже сброса не отличается, составляет 9,9 0Ж, что превышает нормативы ПДК на 2,9 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (СанПиН 2.1.3684-21). Водородный показатель находится в норме, составляет 7,7 ед. pH и ниже сброса стоков наблюдается слабощелочная реакция воды 8,3 ед. pH . Общая минерализация соответствует ПДК и составляет 532 $\text{мг}/\text{дм}^3$ и ниже сброса сточных вод – 700 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Хлорид-ион составляет 90,3 $\text{мг}/\text{дм}^3$, после сброса стоков – 97,4 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Аммоний-ион – менее 0,1 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Нитрат-ион соответствует 5,3 $\text{мг}/\text{дм}^3$ и сульфатион – 200,1 $\text{мг}/\text{дм}^3$, а ниже стока данные показатели в два раза больше. Содержание магния составило 40,5 $\text{мг}/\text{дм}^3$, кальция – 128,3 $\text{мг}/\text{дм}^3$, ниже сброса стоков магний составил 42,5 $\text{мг}/\text{дм}^3$, кальций – 130,3 $\text{мг}/\text{дм}^3$, что соответствует ПДК. Нитрит-ион составляет выше сброса стоков 3,054 $\text{мг}/\text{дм}^3$, что превышает норму на 0,054 $\text{мг}/\text{дм}^3$, ниже стоков превышает на 0,07 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Железо выше сброса превышает на 3,82 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (4,12 $\text{мг}/\text{дм}^3$), ниже стоков – на 4,83 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (5,13 $\text{мг}/\text{дм}^3$). Марганец составляет 0,16 $\text{мг}/\text{дм}^3$, незначительно превышает норму, ниже стоков превышает в два раза. Хими-

ческое потребление кислорода (ХПК) выше сброса 2 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$, что соответствует ПДК, а после сброса 31 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ превышает значение нормы на 1 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$. Остальные показатели отличаются незначительно.

К биоиндикационным исследованиям относятся учет частоты встречаемости видов и изучение физиологических свойств, изменение которых может свидетельствовать о присутствии загрязнений, и некоторые невозможно определить химическими методами [1]. Для оценки токсичности среды использовали реакцию на присутствие веществ, представляющих опасность для инфузорий-туфельек. При изменении внешних условий изменяется таксис во избежание вредных воздействий. Массовое перемещение организмов в верхние слои жидкости – это важная особенность поведенческой реакции простейших при биотестировании. Чем выше токсичность, тем меньшая доля инфузорий перемещается в исследуемую пробу по сравнению с контролем. При проведении исследований по биотестированию проверяется пригодность культуры *Paramecium caudatum* согласно методике [2]. Было проведено сравнительное биотестирование поверхностных вод выше и ниже сброса сточных вод. Проводили проверку по двум параметрам: по чувствительности к модельному токсиканту; по характеру выхода в разбавляющую среду. В исходной культуре среднее значение показателя прибора составило 161 и для проверки ниже сброса сточных вод значение – 78. Индекс токсичности для раствора сульфата меди, который является модельным токсикантом для культуры *Paramecium caudatum*, установлен на уровне 0,63 и во втором случае 0,64, что показывает, что культура пригодна для биотестирования. Выход тест-объекта в среду Лозина-Лозинского по результатам измерений составляет 65 %.

При дальнейшем проведении эксперимента проводилось определение индекса токсичности проб воды выше и ниже сброса сточных вод. Индекс токсичности проб воды выше сброса сточных вод составил 0,49 и соответствует умеренной степени токсичности. Индекс токсичности ниже сброса составил 0,71, что соответствует умеренно-высокой степени токсичности. Проба воды выше сброса сточных вод является более благоприятной средой для *Paramecium caudatum*.

Исходя из результатов исследования, можно сделать следующие выводы:

- | | |
|--|--|
| 1) анализ состава организмов показал видовое и количественное постоянство; | следуемых пробах воды соответствует ПДК, кроме общей жесткости, содержания железа и марганца, класс воды носит заметный сульфатный характер; |
| 2) значение дозы ила по объему и весу является стабильным для очистных сооружений; | 5) по результатам биотестирования, исследуемые пробы не обладают высокой степенью токсичности. |
| 3) состояние ила по иловому индексу говорит об удовлетворительной оценке; | |
| 4) содержание химических веществ в ис- | |

Список литературы

1. Виноградов, Д.О. Научные основы. Биотестирование с использованием инфузорий / Д.О. Виноградов. – СПб., 2007. – 97 с.
2. Дьяконова, З.Ф. Определение качества питьевой воды различных источников после дополнительной очистки / З.Ф. Дьяконова, Т.П. Чудинова, А.Р. Махмудов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 1(91). – С.104–107.
3. Трифонов, О.В. Оценка эффективности работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям. Руководство по контролю за работой очистных сооружений биологической очистки сточных вод в аэротенках / О.В. Трифонов. – М. : Издательские решения, 2013. – 408 с.

References

1. Vinogradov, D.O. Nauchnyye osnovy. Biotestirovaniye s ispol'zovaniyem infuzoriy / D.O. Vinogradov. – SPb., 2007. – 97 s.
2. D'yakonova, Z.F. Opredeleniye kachestva pit'yevoy vody razlichnykh istochnikov posle dopolnitel'noy ochistki / Z.F. D'yakonova, T.P. Chudinova, A.R. Makhmutov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2019. – № 1(91). – S.104–107.
3. Trifonov, O.V. Otsenka effektivnosti raboty ochistnykh sooruzheniy po gidrobiologicheskim pokazatelyam. Rukovodstvo po kontrolyu za rabotoy ochistnykh sooruzheniy biologicheskoy ochistki stochnykh vod v aerotenkakh / O.V. Trifonov. – M. : Izdatel'skiye resheniya, 2013. – 408 s.

© Е.В. Шепелькевич, Т.П. Чудинова, 2025

УДК 53.089.6

М.Н. БЕЛАЯ, Е.Ф. БАРИЕВА, М. КОРШУНОВА, С.Л. ГАВРИСЕНКО, Э.М. НАЛБАНДЯН
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕСОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ

Ключевые слова: бюджет неопределенности; весы лабораторные электронные; калибровка; коэффициент охвата; оценивание неопределенности; расширенная неопределенность.

Аннотация. В статье представлена последовательность процедуры оценивания неопределенности результатов измерений весов лабораторных электронных. Предложенная процедура позволяет повысить достоверность и обоснованность результатов измерений, что особенно важно в лабораторных исследованиях.

Цель статьи – разработка процедуры оценивания неопределенности результатов измерений при проведении калибровки весов лабораторных электронных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- определить этапы и последовательность действий при калибровке весов лабораторных электронных;
- определить виды неопределенности при измерении массы;
- разработать процедуру оценивания неопределенности результатов измерений.

Гипотеза исследования: точность и достоверность результатов измерений, полученных с помощью весов, имеют большое значение для принятия обоснованных решений. Однако не всегда учитывается неопределенность измерений, что может приводить к ошибкам в интерпретации данных.

Научные методы, использованные в данной статье: обобщение, синтез и статистический анализ серии наблюдений.

Основным результатом работы является установление последовательности оценивания неопределенности измерений при калибровке весов лабораторных электронных, что

позволит сформировать бюджет неопределенности.

Введение

Лабораторные электронные весы широко применяются в различных сферах, таких как химия, фармацевтика, материаловедение и другие. Для получения достоверных и надежных результатов измерений оценивание неопределенности результатов измерений весов лабораторных электронных является актуальной задачей в современных научных исследованиях.

Разработка процедуры оценивания неопределенности позволит повысить качество и надежность измерений, что, в свою очередь, улучшит обоснованность выводов, сделанных на их основе [1].

Объекты и методы исследования

Весы калибруются с применением эталонных калиброванных гирь, которые служат в качестве рабочего эталона. Калибровка производится на всем диапазоне взвешивания весов путем разбивки диапазона на десять опорных точек, в числе которых обязательно НмПВ и НПВ (минимальная и максимальная допустимые нагрузки согласно паспорту на весы), а остальные точки калибровки определяются как 10–90 % от НПВ с шагом в 10 %, либо калибровка весов производится в точках, указанных заказчиком, но в количестве не более десяти.

При проведении калибровки весов должны быть соблюдены определенные условия. Температура окружающего воздуха в помещении, в соответствии с ГОСТ OIML R 76-1-2011, должна находиться в пределах рабочих температур,

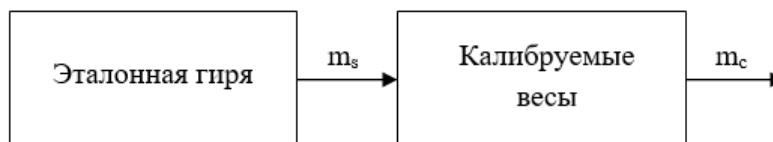


Рис. 1. Схема передачи преобразования входной величины

указанных в маркировке весов. Границы температур могут быть выбраны в зависимости от назначения весов. Диапазоны внутри этих границ должны быть не менее [2]: 5 °C – для весов специального класса точности; 15 °C – для весов высокого класса точности.

Изменение температуры за час не должно превышать 1 °C для весов специального и высокого классов точности. В помещении не должно быть воздушных потоков и вибраций, вызывающих изменение показаний весов. Весы должны быть включены в сеть электропитания, удовлетворяющую метрологическим характеристикам весов и оборудованную защитой от перепадов напряжения.

Для калибровки весов необходимо провести подготовку. Весы должны быть установлены на прочном лабораторном столе и выставлены по уровню. После распаковки весы должны быть выдержаны в помещении, где будет производиться калибровка, не менее 12 часов. Подготовка весов к работе осуществляется в соответствии с требованиями эксплуатационной документации. Весы должны быть выдержаны во включенном состоянии не менее 30 мин. Перед определением метрологических характеристик необходимо выполнить градуировку весов, как описано в их эксплуатационных документах. Если градуировка может быть выполнена как встроенным грузом, так и внешней гирей, то необходимо выполнить внутреннюю градуировку (встроенным грузом).

При проведении калибровки выполняют операции: внешний осмотр, опробование, оценивание неопределенности. При проведении внешнего осмотра должно быть установлено:

- соответствие комплектности весов эксплуатационным документам;
- отсутствие механических повреждений весов и адаптера (при его наличии), повреждений лакокрасочных и металлических покрытий;
- отсутствие повреждений соединительных кабелей;
- отсутствие следов коррозии;

– наличие необходимой маркировки.

В эксплуатации допускаются незначительные повреждения лакокрасочных и металлических покрытий, не влияющие на эксплуатационные качества весов. При опробовании проверяют функционирование весов в режимах взвешивания, предусмотренных эксплуатационной документацией, а также проверяют функцию выборки массы тары. При наличии встроенных или периферийных дополнительных устройств их работоспособность также проверяют. Калибровка весов производится определением значений, воспроизводимых эталонными гирями. На рис. 1 представлена схема передачи преобразования входной величины.

Модельное уравнение преобразования входной величины:

$$\Delta = (m_c + \Delta_c) - (m_s + \Delta_s), \quad (1)$$

где m_c – показания, снятые с весов; Δ_c – поправка на конечное значение дискретности отсчета весов, определяется как математическое ожидание пределов отклонений показаний весов $\pm q/2$ и равняется 0; q – дискретность отсчета весов; m_s – значение, воспроизведенное эталонной гирей; Δ_s – дрейф воспроизводимого значения со времени последней калибровки с учетом допустимой погрешности эталонной гири оценивается значением 0 с максимальным отклонением от него $\pm \delta m/9$, где δm – предел допускаемой погрешности эталонной гири.

Оценку выходной величины Δ получают при подстановке в модельное уравнение (1) оценок входных величин. Перечисленным входным величинам соответствуют следующие неопределенности: систематическая составляющая неопределенности, связанная с рассеянием показаний; неопределенность квантования; неопределенность калибровки эталонной гири; определенность вклада, обусловленного нестабильностью массы эталонной гири; коэффициент чувствительности [3]. Систематическая составляющая неопределенности, связанная с

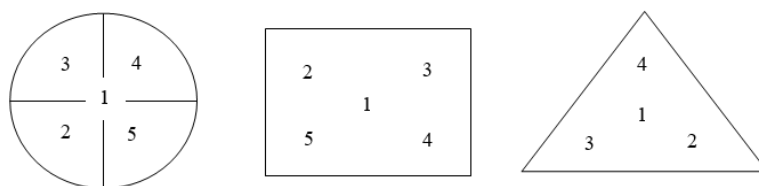


Рис. 2. Схемы нагружения весов в зависимости от формы платформы

Таблица 1. Результаты многократных измерений эталонной гири

n измерений	Показания нагруженных весов M_1 г	Показания разгруженных весов M_0 , г	Результат взвешивания, $m_c = M_1 - M_0$, г
1			
2			
...	...	...	...

рассеянием показаний весов по типу $Au_A(m_c)$, определяется:

$$u_A(m_c) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_{ci} - \bar{m}_c)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

где $\bar{m}_c$ – среднее арифметическое значений, индицируемых весами; n – число измерений.

Показания весов снимают, поочередно устанавливая эталонную гирю в точках на платформе весов, как показано на рис. 2. По результатам взвешиваний формируют табл. 1.

Количество циклов взвешивания (n) должно обосновываться на необходимой неопределенности и воспроизводимости измерения.

Неопределенность квантования определяется:

$$u(\Delta_c) = \frac{q}{2\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Неопределенность калибровки эталонной гири (расширенная неопределенность из свидетельства о калибровке эталонной гири, деленная на коэффициент охвата) определяется:

$$u(m_s) = \frac{U_s}{k_s}, \quad (4)$$

где U_s – расширенная неопределенность (из

свидетельства о калибровке эталонной гири); k_s – коэффициент охвата.

Неопределенность вклада, обусловленного нестабильностью массы эталонной гири, определяется по формуле:

$$u(\Delta_s) = \delta m / (9\sqrt{3}), \quad (5)$$

где δm – предел допускаемой погрешности эталонной гири.

Вклад неопределенности $u_i(x_i)$ каждой входной величины x_i в неопределенность $u_c(\Delta)$ измеряемой величины Δ (суммарную неопределенность) определяют как произведение коэффициента чувствительности c_i на неопределенность входной величины:

$$u_i(\Delta) = c_i u(X_i). \quad (6)$$

Коэффициенты чувствительности c_i находят как частные производные выходной величины по каждой из входной величин, оцененные при значениях входных величин:

$$c_i = \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|. \quad (7)$$

Для модельного уравнения (1):

$$c_{m_c} = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial m_c} \right| = 1; \quad c_{\Delta_c} = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial \Delta_c} \right| = 1; \quad (8)$$

Таблица 2. Коэффициент охвата k для разного числа эффективных степеней свободы ν_{eff}

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	8	10	20	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,37	2,28	2,13	2,00

Таблица 3. Коэффициент охвата k для разного соотношения доминирующих неопределенностей u_2/u_1

u_2/u_1	0–0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9–1
K	1,65	1,7	1,75	1,8	1,83	1,86	1,88	1,89	1,9

Таблица 4. Бюджет неопределенности калибровки весов

Входная величина	Оценка входной величины, г	Стандартная неопределенность входной величины, г	Распределение	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности, г
m_c				1	
Δ_c				1	
m_s				–1	
Δ_s				–1	
Выходная величина	Значение выходной величины, г	Суммарная стандартная неопределенность, г	Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
Δ					

$$c_{m_s} = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial m_s} \right| = -1; \quad c_{\Delta_s} = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial \Delta_s} \right| = -1. \quad (8)$$

При отсутствии корреляций между входными величинами стандартная неопределенность выходной величины определяется:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u_A^2(m_c) + u^2(\Delta_c) + u^2(m_s) + u^2(\Delta_s)}. \quad (9)$$

При оценивании неопределенности результатов многократных измерений GUM рекомендует брать в качестве коэффициента охва-

та коэффициент из распределения Стьюдента для уровня доверия 0,95 и эффективного числа степеней свободы ν_{eff} [3; 4]. Эффективное число степеней свободы определяется по формуле Велча-Саттерсвейта и для модельного уравнения (1) может быть представлено в следующем виде:

$$\nu_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c(\Delta)}{u_A(m_c)} \right]^4. \quad (10)$$

Коэффициент охвата для этого значения ν_{eff} с вероятностью $P = 0,95$ определяется по табл. 2.

Если доминирующей составляющей является неопределенность вклада калибровки эта-

лонной гири, коэффициент охвата принимается равным k_s .

В том случае, если систематическая составляющая неопределенности $u_A(m_c) \rightarrow 0$, а $u(m_s)$ не является доминирующей, коэффициент охвата определяется из соотношения двух наибольших неопределенностей по типу B . Так, если $u_2 \leq u_1$, где u_2 и u_1 – доминирующие неопределенности, то коэффициент охвата определяется по табл. 3 исходя из соотношения u_2/u_1 .

Расширенную неопределенность рассчитывают:

$$U = k \cdot U_c(\Delta). \quad (11)$$

По результатам расчетов параметров калибровки формируется бюджет неопределенности (табл. 4).

Результаты калибровки весов оформляют протоколом калибровки и сертификатом установленной формы.

Заключение

На основании представленной процедуры калибровки весов лабораторных электронных и оценивания неопределенности результатов измерений целесообразно разработать методику калибровки весов лабораторных электронных.

Список литературы

1. Белая, М.Н. К вопросу о пищевой безопасности / М.Н. Белая, Е.С. Шахова // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 5(119). – С. 82–86.
2. ГОСТ OIML R 111-1-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Гири классов E(1), E(2), F(1), F(2), M(1), M(1-2), M(2), M(2-3) и M(3). Часть 1. Метрологические и технические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200086911?ysclid=l8h2t4a74398360426>.
3. Архипов, А.В. Поверка и калибровка средств измерения массы. Часть 1. Начальные сведения об измерении массы: учебное пособие / А.В. Архипов, Е.Г. Исакович, В.А. Крапивина, М.В. Сенянский. – М. : АСМС, 2013. – 112 с.
4. Николаева, Е.А. Алгоритм расчета неопределенности при проведении калибровки средств измерений / Е.А. Николаева, А.В. Николаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5. – С. 162–167.

References

1. Belaya, M.N. K voprosu o pishchevoy bezopasnosti / M.N. Belaya, Ye.S. Shakhova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2021. – № 5(119). – S. 82–86.
2. GOST OIML R 111-1-2009 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy (GSI). Giri klassov E(1), E(2), F(1), F(2), M(1), M(1-2), M(2), M(2-3) i M(3). Chast' 1. Metrologicheskiye i tekhnicheskkiye trebovaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200086911?ysclid=l8h2t4a74398360426>.
3. Arkhipov, A.V. Poverka i kalibrovka sredstv izmereniya massy. Chast' 1. Nachal'nyye svedeniya ob izmerenii massy: uchebnoye posobiye / A.V. Arkhipov, Ye.G. Isakovich, V.A. Krapivina, M.V. Senyanskiy. – M. : ASMS, 2013. – 112 s.
4. Nikolayeva, Ye.A. Algoritm rascheta neopredelennosti pri provedenii kalibrovki sredstv izmereniy / Ye.A. Nikolayeva, A.V. Nikolayev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017. – № 5. – S. 162–167.

УДК 661.723:661.725:661.728

М.Ю. КНЯЗЕВ

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛОТОННАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТОЛУОЛА В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: барботажный реактор; бензиловый спирт; бензилхлорид; вакуумная ректификация; толуол.

Аннотация. В статье представлены инновационные технологические решения, разработанные в рамках проекта по организации малотоннажных производств глубокой переработки толуола в ряд ценных химических продуктов (бензилхлорид, бензиловый спирт, бензойная кислота и др.). Цель исследования заключалась в разработке улучшенной конструкции барботажного реактора для жидкофазного радикально-цепного хлорирования толуола, а также установки для выделения бензинового спирта из гидролизата бензилхлорида методом вакуумной ректификации в двух насадочных колоннах. Основные задачи исследования включали проектирование и создание технологического оборудования для получения указанных химических продуктов с высокой чистотой и максимально возможным выходом. Результаты работы показывают, что предложенная конструкция барботажного реактора и разработанная установка вакуумной ректификации обеспечивают высокую эффективность получения бензилхлорида и бензинового спирта из толуола с высоким выходом и содержанием целевого продукта до 99,99 %. Разработанное оборудование предназначено для использования при создании новых производственных мощностей по глубокой переработке толуола на предприятиях российской химической промышленности, что будет способствовать импортозамещению, диверсификации нефтехимического производства и повышению конкурентоспособности российской химической промышленности.

Введение

Одним из ключевых направлений развития российской химической промышленности является создание малотоннажных производств высокотехнологичных химических веществ, которые можно получить за счет более глубокой переработки существующего нефтехимического сырья. Данное направление полностью соответствует стратегическим целям развития страны, обозначенным в Указе Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г.» и Государственной программе «Научно-техническое развитие Российской Федерации». В рамках реализации этих целей разрабатывается инвестиционный проект «Бензиловый кластер», направленный на комплексную переработку толуола с получением широкого спектра взаимосвязанных химических соединений [1].

В 2024 г. были продолжены исследования в рамках этого проекта, посвященные созданию инновационной технологии и технического решения для глубокой переработки толуола с получением продуктов малотоннажной химии: бензилхлорида (БХ), бензинового спирта (БС), бензойной кислоты, бензоата натрия, сложных эфиров бензойной кислоты (в первую очередь бензилбензоата) и других производных.

В настоящей работе представлены результаты двух значимых этапов данного проекта.

1. Разработка новой конструкции барботажного реактора для производства бензилхлорида методом жидкофазного радикально-цепно-

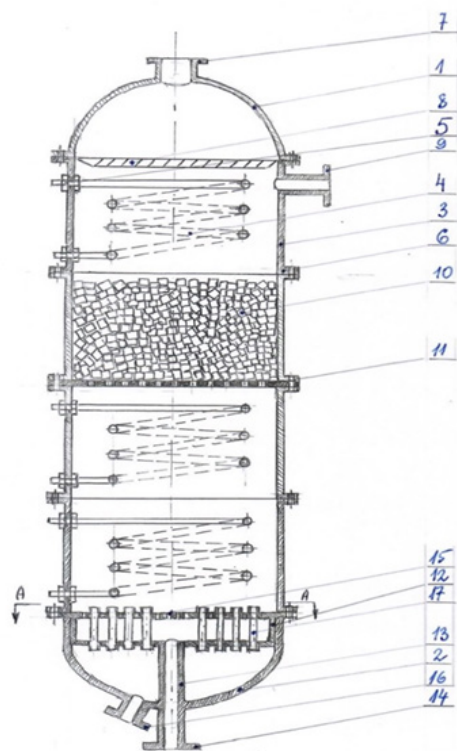


Рис. 1. Схема усовершенствованной конструкции барботажного реактора для получения бензилхлорида жидкофазным радикально-цепным хлорированием толуола (пояснения в тексте статьи)

го хлорирования толуола.

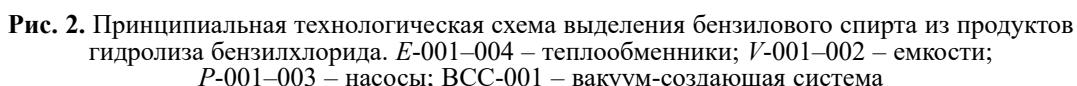
2. Создание установки для извлечения бензилового спирта из гидролизата бензилхлорида с использованием метода вакуумной ректификации.

Барботажный реактор

Для оптимизации процесса получения бензилхлорида жидкофазным радикально-цепным хлорированием толуола была разработана улучшенная конструкция барботажного реактора-хлоратора [2] (рис. 1). Реактор представляет собой вертикальную цилиндрическую емкость, состоящую из нескольких кольцевых секций (3), соединенных фланцами (6). Конструкция включает крышку (1) и днище (2), а также четыре основные функциональные зоны. В нижней, средней и предверхней секциях установлены независимые трубчатые теплопередающие поверхности в виде спирального змеевика (4) для поддержания необходимой температуры процесса. Каждый теплообменник снабжен специальными штуцерами (5) для подачи и от-

вода теплоносителя, обеспечивающими герметичное соединение со стенкой цилиндрической кольцевой секции (3) благодаря прокладкам и прижимным гайкам. На крышке (1) смонтирован выходной штуцер (7) для газообразных продуктов реакции и несконденсированных паров жидкой фазы. Между верхней цилиндрической кольцевой секцией (3) и крышкой (1) установлена щелевая тарелка (8), выполняющая функцию отбойника для парожидкостной смеси, выходящей из реакционной зоны через штуцер (7). В верхней части верхней цилиндрической кольцевой секции (3) имеется штуцер (9) для возврата сконденсированной жидкой фазы в реакционную зону.

Третья цилиндрическая кольцевая секция (считая с нижней части барботажного реактора) оборудована инертной насадкой (10) из колец Рашига, размещенной на ситчатой тарелке (11) для равномерного распределения потока. В нижней части реактора предусмотрена специальная полая камера, образованная днищем (2), трубой (13) и распределительной полой тарелкой (12). Ввод газовой фазы в реакционную



Конструкция реактора предусматривает антикоррозионную защиту всех внутренних поверхностей и элементов: спиральные теплообменники, распределительные тарелки и другие компоненты покрыты тефлоном. Также тефлон используется для изготовления всех уплотнительных элементов и прокладок. Производственная мощность установки составляет 400 тонн бензилхлорида в год при двухсменном режиме работы, что обеспечивает выпуск около 1 тонны продукта за одну смену. Геометрические размеры каждой цилиндрической секции составляют: высота – 1 м, диаметр – 1 м, что соответствует общему объему цилиндрического корпуса из четырех секций – 3,14 м³. При этом рабочий объем реактора, учитывая занимаемое пространство теплообменными змеевиками и инертной насадкой, равен 2,4 м³. Процесс хлорирования продолжается 2,5–4 ч до достижения необходимой плотности смеси (0,96–0,98 г/см³), что соответствует содержанию БХ в получен-

Исполнение конструкции цилиндрического вертикального корпуса барботажного реактора в виде цилиндрических кольцевых секций (как минимум четырех) имеет ряд следующих преимуществ:

- конструкция становится более ремонтно-пригодной – в случае поломки какого-либо элемента секции возможна замена этой секции без демонтажа всего реактора;
- конструкция становится более универсальной и позволяет изменять число цилиндрических кольцевых секций, вставлять при необходимости между секциями дополнительное массообменное оборудование (тарелки, слой насадки и др.);
- независимая трубчатая теплопередающая поверхность в виде спиральных змеевиков позволяет более точно регулировать температурный режим внутри реактора и при необходимости создавать нужный температурный градиент по высоте реактора;
- конструкция поллой тарелки выполнена таким образом, чтобы одновременно равномерно распределять газовую и жидкую фазы по сечению реактора при вводе этих фаз в реакцион-

Таблица 1. Результат расчета установки для выделения бензилового спирта из продуктов гидролиза бензилхлорида

Номер потока	1	2	6	8	9	11	12	15
Температура, °С	120	77	138	138	88	87	108	145
Давление, мм.рт.ст.	750	75	158	8	7,5–10	7,5–10	60	165
Массовый расход, кг/ч	265	230	1101	253	535	235	543	18
Состав, масс. %								
о-хлортолуол	0,2000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Бензилхлорид	0,5000	11,0380	0,0099	0,0040	0,0043	0,0043	0,0000	0,0000
Бензальдегид	0,1000	2,2239	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Бензиловый спирт	90,000	19,9999	98,2360	93,3994	99,9957	99,9957	55,8645	6,0001
Дибензиловый эфир	6,3000	0,0000	1,7537	6,5965	0,0000	0,0000	44,1355	93,9999
Вода	2,9000	66,7382	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	БС-сырец					БС		ДБЭ

Примечание: БС – бензиловый спирт, ДБЭ – дибензиловый эфир

ную зону;

– использование инертной насадки (например, колец Рашига) в начале верхней половины реакционной зоны реактора служит для повторного равномерного распределения газовой и жидкой фазы по сечению реактора, что приводит к увеличению площади контакта между газовой и жидкой фазами и интенсификации основной газожидкостной реакции хлорирования толуола.

Установка для выделения бензилового спирта

Полученный в результате жидкофазного радикально-цепного хлорирования толуола БХ в основном (более 55 %) используют для получения БС гидролизом БХ. Полученная в результате гидролиза БХ смесь, помимо БС (~90 % масс.), содержит (% масс.): о-хлортолуол (0,2), бензилхлорид (0,5), бензальдегид (0,1), дибензиловый эфир (6,3) и воду (2,9). Из полученной смеси необходимо выделить БС с содержанием основного компонента косметической чистоты (99,99 %). Существующие методы вакуумной ректификации [4; 5] гидролизата БХ не позволяют получить целевой продукт нужного качества (содержание БС не превышает 99,9 %). В рамках проекта была разработана новая технологическая схема, которая приведена на

рис. 2.

Основными отличиями этой схемы от ранее существующей [5] являются следующие: соединение двух насадочных ректификационных колонн К-4 и К-5 «по остатку» – кубовый продукт колонны К-4 является питанием для колонны К-5; проведение ректификации в колонне К-5 под остаточным давлением 7,5–10,0 мм.рт.ст.; использование высокоэффективной структурированной сетчатой насадки СУ-типа [6]; использование этого типа насадки в трех секциях в каждой из колонн К-4 и К-5 с подачей питания в эти колонны в точку, расположенную между второй и третьей секциями, считая сверху колонны.

Для технологической схемы, приведенной на рис. 2, был выполнен расчет нескольких вариантов, один из которых приведен в табл. 1. Как видно из данных этого расчета, выделение БС из гидролизата БХ с использованием этой схемы позволяет получить целевой продукт нужного качества с содержанием БС 99,99 %.

Заключение

Предложенная конструкция барботажного реактора для осуществления процесса жидкофазного радикально-цепного хлорирования толуола до бензилхлорида, а также разработанная установка для извлечения бензилового спирта

из гидролизата бензилхлорида методом вакуумной ректификации в двух насадочных колоннах обеспечивают высокоэффективное получение целевой продукции из толуола с высокой чистотой (до 99,99 %) и оптимальным выходом. Данные технические решения характеризуются улучшенными эксплуатационными характеристиками, возможностью высокой степени автоматизации и надежностью работы.

Применение данных инновационных технологических решений позволит создать основу для организации современных малотоннажных производств глубокой переработки толуола в российской химической промышленности. Это, в свою очередь, способствует импортозамещению, диверсификации нефтехимического производства и повышению добавленной стоимости выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Траханова, Е.В. Экономическое обоснование и разработка технологии производства импортозамещающей продукции из толуола / Е.В. Траханова, М.Ю. Князев, А.В. Артемов, М.В. Дюбанов // Российский химический журнал. – 2024. – Т. 68. – № 1. – С. 74–79.
2. Заявка на патент РФ на полезную модель W24015059/2024106794. МПК B01J 10/00. Барботажный реактор / Е.В. Траханова, М.Ю. Князев, А.В. Артемов, М.В. Дюбанов. – Инвестиционно-промышленный концерн «ЗВЕЗДА», 15.03.2024.
3. Производство хлористого бензила: технологический регламент № 144-03. – Волгоград : ВОАО «Химпром», 2003. – 163 с.
4. Производство бензилового спирта: постоянный технологический регламент № 136-2004. Цех № 31–35. Отделение 1397. – Волгоград : ОАО «Химпром», 2004.
5. Шибитова, Н.В. Основные направления снижения энергозатрат на стадии ректификации в производстве бензилового спирта / Н.В. Шибитова, С.С. Луговой, Д.В. Мурушкин, К.В. Черикова // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 2. – С. 170–174.
6. Регулярная насадка для процессов абсорбции и ректификации (Sulzer Chemtech): проспект фирмы ООО «ТИ-СИСТЕМС» Инжиниринг и поставка технологического оборудования. – С. 11.

References

1. Trakhanova, Ye.V. Ekonomicheskoye obosnovaniye i razrabotka tekhnologii proizvodstva importozameshchayushchey produktsii iz toluola / Ye.V. Trakhanova, M.YU. Knyazev, A.V. Artemov, M.V. Dyubanov // Rossiyskiy khimicheskii zhurnal. – 2024. – T. 68. – № 1. – S. 74–79.
2. Zayavka na patent RF na poleznuyu model' W24015059/2024106794. MPK B01J 10/00. Barbotazhnyy reaktor / Ye.V. Trakhanova, M.YU. Knyazev, A.V. Artemov, M.V. Dyubanov. – Investitsionno-promyshlennyy kontsern «ZVEZDA», 15.03.2024.
3. Proizvodstvo khloristogo benzila: tekhnologicheskii reglament № 144-03. – Volgograd : VOAO «Khimprom», 2003. – 163 s.
4. Proizvodstvo benzilovogo spirta: postoyannyy tekhnologicheskii reglament № 136-2004. Tsekh № 31–35. Otdeleniye 1397. – Volgograd : OAO «Khimprom», 2004.
5. Shibitova, N.V. Osnovnyye napravleniya snizheniya energozatrat na stadii rektifikatsii v proizvodstve benzilovogo spirta / N.V. Shibitova, S.S. Lugovoy, D.V. Murushkin, K.V. Cherikova // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. – 2022. – № 2. – S. 170–174.
6. Regulyarnaya nasadka dlya protsessov absorbtzii i rektifikatsii (Sulzer Chemtech): prospekt firmy ООО «ТИ-СИСТЕМС» Inzhiniring i postavka tekhnologicheskogo oborudovaniya. – S. 11.

© М.Ю. Князев, 2025

УДК 661.723:661.725:661.728

М.Ю. КНЯЗЕВ

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ЛИНЕЙКИ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ БЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ В РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКЕ

Ключевые слова: динамика потребления; производство в России; прогноз до 2030 г.; сложные эфиры бензойной кислоты.

Аннотация. Одним из ключевых направлений развития химической промышленности является увеличение производства малотоннажной химической продукции путем глубокой переработки нефтехимических ресурсов, включая толуол. Из толуола можно производить разнообразные химические соединения, например, бензойную кислоту и ее сложные эфиры, которые являются ценными химическими продуктами. Цель исследования – комплексный анализ динамики потребления сложных эфиров бензойной кислоты (**СЭБК**) в российской экономике за период 2019–2024 гг. для оценки перспектив создания отечественного производства данных химических веществ. Задачи исследования включают: анализ состояния российского рынка **СЭБК** за последние пять лет, изучение объемов импорта, определение основных импортеров, структуры потребления **СЭБК** в различных отраслях экономики, а также прогноз потребления до 2030 г. Гипотеза исследования заключается в том, что создание собственного производства **СЭБК** в России позволит обеспечить внутренний рынок качественной продукцией, соответствующей современным стандартам, а также снизить зависимость от внешних поставок. Методы исследования включают анализ данных по объемам импорта и потребления **СЭБК**, прогнозирование динамики спроса до 2030 г. на основе экспертных оценок и анализа тенденций развития соответствующих отраслей применения, а также изучение существующих технологий производства **СЭБК**. Результаты анализа свидетельствуют о значительном потенциале роста потребления **СЭБК** в России,

особенно в фармацевтической, парфюмерно-косметической и пищевой промышленности. В условиях курса на импортозамещение развитие отечественного производства **СЭБК** представляется перспективным направлением, способным повысить технологическую независимость страны и улучшить экономическую эффективность использования сырьевых ресурсов.

Введение

Настоящая статья продолжает серию публикаций, посвященных анализу потенциала создания в России современного производства полезных химических продуктов на основе производных толуола – одного из основных компонентов легкой ароматической углеводородной фракции нефтехимического сырья. Развитие данного направления имеет особую актуальность, поскольку способствует повышению эффективности использования имеющихся природных ресурсов и снижению зависимости от импорта стратегически важных химических веществ.

В двух предыдущих публикациях были рассмотрены перспективы организации в РФ производства двух ценных химических продуктов – бензойной кислоты (**БК**) [1] и бензоата натрия [2]. В данном исследовании внимание уделяется следующей группе продуктов глубокой переработки толуола – **СЭБК**, которые представляют собой важный класс органических соединений с широким спектром применения в различных отраслях промышленности.

Для оценки перспективности получения **СЭБК** в России в статье представлен ком-

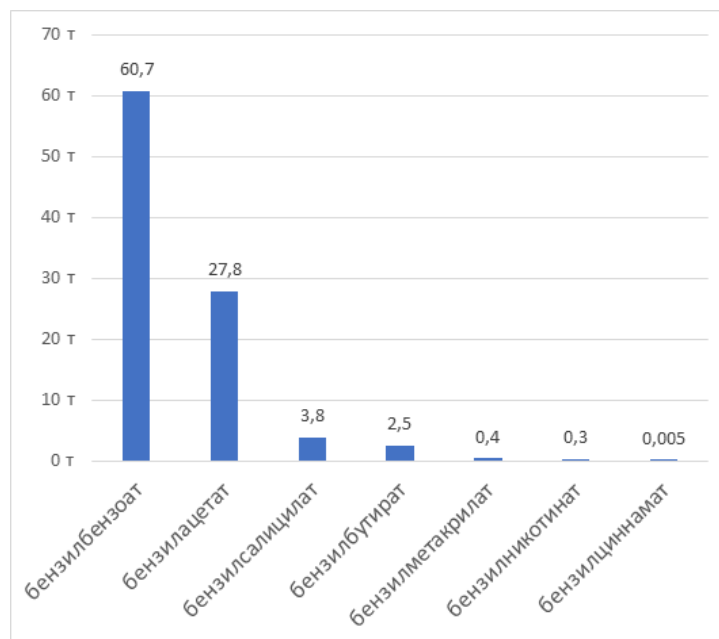


Рис. 1. Объем импорта СЭБК в Россию в 2022 г., т

плексный анализ текущего состояния рынка данной продукции в РФ за последние пять лет (2019–2024 гг.), проведена оценка экспорта и импорта, выявлены основные импортеры, изучена структура потребления СЭБК по основным сферам использования и проведена диагностика цен. По результатам анализа сделан прогноз темпов роста спроса на СЭБК до 2030 г. и сформулированы выводы об экономической целесообразности организации производства СЭБК в России, а также выделены основные факторы, влияющие на развитие данного направления. Кроме того, в статье рассмотрены основные технологии получения сложных эфиров бензойной кислоты, их преимущества и ограничения, что позволяет оценить техническую готовность отечественной промышленности к реализации подобных проектов.

Динамика потребления сложных эфиров бензойной кислоты в РФ в 2019–2024 гг.

В настоящее время производство СЭБК (в том числе их основного представителя бензилбензоата) в России отсутствует, потребляется только импортируемый продукт. Суммарное потребление СЭБК в 2022 г. в РФ составило 93,5 т, из которых более двух третей (60,7 т) приходится на бензилбензоат (рис. 1).

Структура потребления сложных эфиров бензойной кислоты

Сложные эфиры бензойной кислоты применяются в перечисленных ниже отраслях российской экономики:

1) бензилацетат: парфюмерия и косметология (искусственный жасмин); пищевая промышленность (отдушки); лакокрасочная и химическая промышленность (растворитель для ацетата и нитрата целлюлозы, натуральных и синтетических смол, масел, лаков, полиролей, печатных красок и средств для снятия лака);

2) бензилбензоат: медицина (препарат против эктопаразитов, входит в состав бальзамов «Перу» и «Толу»); инсекторепелент (в том числе средство против комаров); ветеринария;

3) бензилбутират: парфюмерия и косметология (искусственный жасмин); пищевая промышленность (отдушки); натуральный бензилбутират обладает характерным фруктово-цветочным, сливовым запахом, сладким, грушевидным вкусом;

4) бензилметакрилат: химическая промышленность (используется в производстве полиэфирных и акриловых смол, композитов, покрытий, клеев и герметиков, добавка для модификации резины); текстильная промышленность; косметология и парфюмерия;

5) бензилникотинат: медицина (сосудорас-

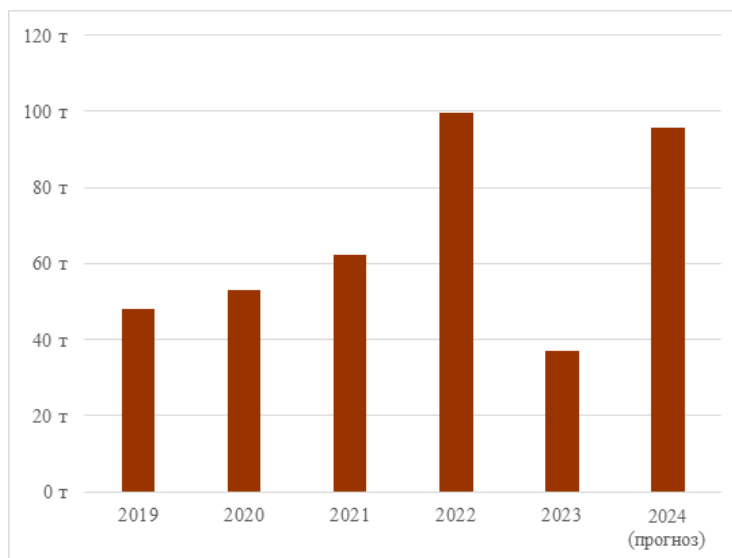


Рис. 2. Объем потребления ББ в 2019–2024 гг., т

ширяющие и обезболивающие средства);

6) бензилсалицилат: косметология и парфюмерия (слабый бальзамический запах, поглотитель ультрафиолетовых лучей);

7) бензилциннамат: медицина (антибактериальное, противогрибковое средство).

В следующем разделе более подробно рассмотрены области применения и потребление наиболее востребованного из этой линейки продуктов – бензилбензоата (ББ) (рис. 1).

Особенности потребления и области применения бензилбензоата

Главный продукт исследуемой линейки СЭБК – бензилбензоат – находит наибольшее применение в косметической промышленности и в медицине. В косметике ББ используется в основном в составе душистых веществ. Примером этого могут служить составы композиций душистых веществ, приведенные в работах [3; 4]. Кроме того, ББ находит применение в производстве помад. В медицине ББ используется в составе мазевых и эмульсионных форм фармацевтических препаратов [5–10], а также средств для лечения различных дерматозов [11–13]. Известно также использование ББ в составе различных дезинфицирующих композиций [14; 15].

Среди других применений ББ необходимо указать на его использование в составе пенетранта для люминесцентной дефектоскопии в

авиационной и автомобильной промышленности [16]. Например, разработан пенетрант в виде смеси следующего состава (% масс): 3-фенил-5, 6-бензокумарин (1,8–2,0), *N*-фенил-*p*-бутилимид-4-диметиламино-нафталевой кислоты (1,0–1,2), полиэтиленгликолевые эфиры жирных кислот фракции C10–C18 (5,0–7,0), жидкий парафин (16,0–24,0), ББ (остальное), продукт обладает повышенной чувствительностью к микродефектам с раскрытием менее 1 мкм.

Жидкий сцинтиллятор, содержащий (% масс.) ББ (84,0–87,0), нафталин (12,5–15,0), 1,3,5-трифенил-2-пиразолин (0,4–0,7), может быть использован для регистрации космических излучений [17].

В промышленности ББ получают реакцией бензоата натрия с бензилхлоридом в присутствии основания. Известен также способ получения ББ путем этерификации бензойной кислоты бензиловым спиртом в присутствии производных пиридина в ацетонитриле. Подробно технология производства ББ описана в работе [18].

В 2019–2024 гг. потребление ББ в российской экономике увеличилось и, по оценке, в 2024 г. должно было достигнуть 92,8 т (рис. 2).

Однако в 2023 г. спрос на ББ уменьшился более чем вдвое и достиг 37 т. В табл. 1 приведены данные по объему потребления ББ в РФ в натуральном и стоимостном выражении по различным сферам использования.

Таблица 1. Объем потребления ББ по направлениям использования

Направление использования	Масса, т			Стоимость, тыс. долл.		
	2022	2023	2024, 1 кв-л	2022	2023	2024 1 кв-л
Фармацевтическая промышленность	63,2	18,0	32,0	206,9	47,9	79,0
Парфюмерно-косметическая промышленность	11,0	18,1	14,3	36,5	60,7	41,1
Производство пестицидов	21,6	0,5		96,8	1,5	
Пластификаторы	3,1			5,2		
Прочее	0,7	0,4	0,0	18,4	22,2	2,5
Всего	99,6	37,0	46,3	363,8	132,3	122,6

Анализ направлений использования ББ показывает, что основной сферой его применения является фармацевтическая промышленность, которая составляет в среднем 60 % от общего объема потребления.

Произошло расширение сфер потребления ББ за счет роста спроса со стороны производителей пестицидов и пластификаторов: в 2022 г. для производства этой продукции было использовано 21,6 т и 3,1 т ББ, что составило 21,7 % и 3,1 % объема его потребления соответственно, однако в последующие годы закупки в этих сферах прекратились.

Широкий диапазон импортных цен на ББ определяется объемами поставок, сферой потребления, степенью очистки закупаемого продукта, страной и компанией-поставщиком. В 2024 г. минимальная импортная цена на ББ была на уровне 2 235 долл./т (покупатель – ООО «Адамс Кемикалс», поставщик – *Tianjin Dacals Chemical Co., Ltd.*, Китай). Максимальный уровень цены составил 12 135,2 долл./т (покупатель – ООО «Русмедторг», поставщик – *United States Pharmacopeial Convention*, США), что является примером поставки продукта реактивного качества.

Анализ данных по динамике потребления СЭБК

Основной спрос на СЭБК в отраслях промышленности РФ в 2022 г. приходился на: косметологию и парфюмерию (59,6 %), сельское хозяйство (22,1 %), фармацевтику (10,2 %), химическую промышленность (4,5 %), прочие секторы (7,7%).

Отсутствие производства СЭБК (прежде

всего ББ) в РФ оставляет полностью открытую нишу для экспорта этих продуктов при условии производства высококачественных материалов. Кроме того, выпуск качественной продукции отечественного производства уменьшит затраты на логистику и позволит снизить себестоимость продукции.

Курс на импортозамещение в РФ будет являться стимулом в развитии сфер применения ББ. Наибольшие темпы роста по использованию ББ в ближайшие годы ожидаются в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности.

По экспертным оценкам, потребление СЭБК в РФ к 2025 г. составит 117 т в натуральном выражении со среднегодовым темпом роста 7,8 % и 49 млн руб. в денежном выражении со среднегодовым темпом роста 4,7 %.

Уход ряда иностранных брендов и планы по наращиванию производства отечественных компаний в парфюмерной и косметической отрасли будут способствовать увеличению рынка СЭБК в РФ в ближайшие годы.

Что касается ББ, проведенное исследование параметров качества этой продукции, влияющих на динамику их потребления в российской экономике, позволило сделать следующие основные выводы.

ББ медицинского качества входит в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов России и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), поэтому основной сферой потребления является производство фармсубстанций: в первом квартале 2024 г. – 69,2 %. В 2022 г. значительно расширился спрос со стороны производителей пестицидов и пластификаторов, вследствие чего их

Таблица 2. Темпы роста спроса на ББ на период до 2030 г. по основным сферам его использования, %

Направление использования	Темп роста, %	
	2026 к 2022	2030 к 2022
Спрос всего	110,0	179,0
Фармацевтическая промышленность	96,5	166,0
Парфюмерно-косметическая промышленность	192,7	294,9
Производство пестицидов	121,6	180,0

доля в потреблении ББ достигла 21,7 % и 3,1 % соответственно.

Среди поставщиков ББ доминирует Китай. Однако за период 2022–2023 гг. объем поставок из этой страны сократился в два раза, доля этой страны в общем объеме импорта ББ снизилась с 95 % до 61 % в связи с закупками продукта в Испании и в Индии. Закупки ББ в этих странах в 2023 г. составили 5,2 т и 8,9 т соответственно, в результате чего Испания охватила 14 % объема потребления этого продукта в России, а Индия – 24 %.

В 2020 г. компания «Адамс Кемикалс» начала активно заниматься импортом ББ и продажей активных фармацевтических субстанций и вспомогательных компонентов для фармацевтики. В 2023 г. эта компания заняла доминирующие позиции в сфере потребления ББ – 48,6 %.

В 2023 г. значительно нарастила объемы (с 2,63 т до 14,1 т) российская компания «Кема Клаб», закупающая ББ для нужд парфюмерно-косметической промышленности, и заняла долю в сфере потребления ББ в размере 38,1 %.

Основными поставщиками ББ в 2022–2023 гг. были две китайские компании – *Tianjin Dacals Chemical Co., Ltd.* и *Hubei Greenhome Materials Technology, Inc.* Так, в 2022 г. их доли в общих поставках данного продукта составили 54,2 % и 32,3 %, соответственно. Однако в 2023 г. закупки у *Hubei Greenhome Materials Technology, Inc.* перестали производиться, ее доля распределилась среди более мелких игроков.

Прогноз динамики потребления сложных эфиров бензойной кислоты на период до 2030 г.

Проведенные исследования существующей

динамики потребления СЭБК и ББ позволили сделать прогноз динамики потребления ББ на период до 2030 г.

В период до 2030 г. рост спроса на ББ продолжится. Основанием для такого прогноза служат планы развития фармацевтической промышленности, которая является основной сферой применения ББ в производстве фарм-субстанций (входит в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов России и ВОЗ). Согласно «Стратегии развития фармацевтической промышленности РФ на период до 2030 г.», принятой 7 июня 2023 г. (Распоряжение Правительства РФ № 1496-р), по базовому варианту к 2030 г. объем потребления лекарственных средств фармацевтической промышленности возрастет относительно уровня 2022 г. в 1,66 раз (3 757 млрд руб. по сравнению с 2 250 млрд руб.). Поэтому спрос на ББ со стороны фармацевтической промышленности к 2030 г. также может вырасти в 1,66 раз. Планируемый к 2030 г. рост выпуска пестицидов (в том числе инсектицидов) и пластификаторов увеличит спрос на ББ со стороны производств отмеченной продукции в 1,8 раз.

Санкционные ограничения, введенные в отношении российской экономики рядом стран, явились катализатором ускоренного развития целого ряда отраслей, в том числе парфюмерно-косметической промышленности. Поэтому можно ожидать роста спроса на ББ и со стороны производителей парфюмерно-косметической продукции (табл. 2).

В табл. 3 приведена оценка спроса на ББ на период до 2030 г. по направлениям его использования. С учетом перспективных темпов роста спроса со стороны потребителей к 2030 г. спрос на ББ достигнет 178 т, что будет

Таблица 3. Прогнозная оценка спроса на ББ на период до 2030 г. по основным сферам его использования, т

Направление использования	2022 факт.	2023 факт.	Прогноз (базовый вариант)			
			2024	2025	2026	2030
Спрос всего	99,6	46,3	92,8	8,7	109,6	178,3
Фармацевтическая промышленность	63,2	32,0	52,4	57,5	61,0	104,9
Парфюмерно-косметическая промышленность	11,0	14,3	19,3	20,4	21,3	32,5
Производство пестицидов	21,6	0,0	20,7	0,0	26,3	38,9
Производство пластификаторов	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Прочее	0,7	0,0	0,4	0,8	1,0	2,0

Таблица 4. Оценка структуры спроса на ББ на период до 2030 г. по основным сферам использования, %

Направление использования	2023 факт.	Прогноз (базовый вариант)			
		2024	2025	2026	2030
Спрос всего	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Фармацевтическая промышленность	69,2	56,5	73,1	55,7	58,9
Парфюмерно-косметическая промышленность	30,7	20,8	25,9	19,4	18,2
Производство пестицидов	0,0	22,3	0,0	24,0	21,8
Производство пластификаторов	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Прочее	0,1	0,4	1,0	0,9	1,1

выше уровня 2022 г. в 1,79 раз.

Прогнозируемые тенденции развития динамики потребления ББ к 2030 г. практически не изменят структуру спроса на этот продукт: фармацевтика сохранит доминирующие позиции (58,8 % объема потребления), также крупными потребителями останутся производства пестицидов и парфюмерно-косметической продукции (табл. 4).

Для удовлетворения спроса на ББ со стороны внутренних потребителей и реэкспортеров к 2030 г. потребуется увеличить импорт на 79,1 % относительно уровня 2022 г., доведя его до 178,3 т. Основными поставщиками ББ останутся китайские компании (порядка 80 % физического объема импорта).

Прогнозируемые среднегодовые импортные цены на ББ вырастут от 2,37 долл./кг. в 2024 г. до 2,65 долл./кг к 2030 г.

Выводы

Проведенное в данной статье исследование позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Рост спроса на СЭБК (прежде всего ББ), а также общемировая тенденция к повышению стоимости химической продукции предопределяют дальнейшее увеличение цен на данные продукты. При этом уровень цен будет зависеть от нескольких ключевых факторов: качества продукции, специфики направлений ее применения и объемов поставок.

2. Ожидаемый рост спроса на СЭБК и ББ, а также наблюдаемая динамика роста импортных цен свидетельствуют о возрастающей динамике потребления данной продукции и подтверждают актуальность создания в России собственного производства данных химических

соединений.

3. Развитие отечественного производства СЭБК и ББ имеет значительный потенциал для импортозамещения, что особенно важно в условиях текущих экономических реалий. Внедрение современных технологий и организация производственных процессов могут способствовать снижению себестоимости продукции, делая ее конкурентоспособной как на внутрен-

нем, так и на внешних рынках.

Таким образом, создание в России импортозамещающего производства сложных эфиров бензойной кислоты представляет собой перспективное направление развития нефтехимической промышленности, способное оказать положительное влияние на экономику страны и повысить ее технологическую независимость.

Список литературы

1. Князев, М.Ю. Состояние и перспективы организации производства импортозамещающей продукции и цепей ее поставок на примере анализа рынка бензойной кислоты / М.Ю. Князев // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 3(165). – С. 135–140.
2. Князев, М.Ю. Исследование перспектив организации производства бензоата натрия на базе российской промышленности / М.Ю. Князев // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 3(165). – С. 141–146.
3. Композиция душистых веществ, обладающая запахом цитруса: авторское свидетельство СССР 565057. МПК С11В 9/00 / Л.В. Чеснокова, Н.И. Дружинина. – Уральский филиал ВНИПИ химической промышленности. – Оpubл. 15.07.1977. – БИ № 26.
4. Композиция душистых веществ: пат. РФ 2049811. МПК С11В 9/00 / И.З. Герчиков, М.Г. Фролова. – АО «Дзинтарс». – Оpubл. 10.12.1995.
5. Шибитова, Н.В. Мазь бензилбензоата – первая отечественная разработка стабильной лекарственной формы для лечения чесотки / Н.В. Шибитова, С.С. Луговой, Д.В. Мурушкин, К.В. Черикова // Дерматология в России. – 2017. – № 51. – С. 116.
6. Средство для лечения чесотки (варианты): пат. РФ 2242240. МПК А61К 35/8, 31/233, 9/08, А01Р 33/14 / Е.Т. Чинова, И.И. Краснюк, И.А. Самылина и др. – Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова. – Оpubл. 20.12.2004.
7. Противопедикулезное средство: пат. РФ 2042350. МПК А61К 7/40 / Г.Г. Фокин, А.Г. Селезнев. – Оpubл. 27.08.1995.
8. Бензилбензоат в водно-эмульсионной форме: пат. РФ 2098081. МПК А61К 9/10 / Г.В. Нестеров, А.И. Седельников, Б.С. Змачинский. – НПФ «Левес-НН». – Оpubл. 10.12.1997.
9. Васильева, Н.В. Антифунгальная активность субстанции «бензилбензоат медицинский» in vitro / Н.В. Васильева, И.В. Выборнова, Т.В. Богданова, Т.Н. Богомолова, Е.Р. Рауш, А.Н. Мамошин, Г.А. Чилина, Д.Ф. Гуранда, Л.Д. Гуранда, А.В. Пихтарь // Проблемы медицинской микологии. – 2015. – Т. 17. – № 3. – С. 35–37.
10. Лопатина, Ю.В. Лечение головного педикулеза: сравнительная эффективность in vitro современных педикулицидных средств / Ю.В. Лопатина, О.Ю. Еремина // Ученые записки Орловского государственного университета. – 2014. – № 7(63). – С. 158–159.
11. Канюков, В.Н. Эффективность применения бензилбензоата у пациентов с офтальмодемодекозом / В.Н. Канюков, В.К. Банников, Е.К. Малыгина // International Scientific and Practical Conference World Science. – 2017. – Т. 5. – № 3(19). – Р. 22–24.
12. Бабоев, Х.И. Эффективность применения масляного раствора бензилбензоата против саркоптоидных клещей / Х.И. Бабоев, А.Н. Шахматов, Г.М. Бобиев и др. // Изв. АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2011. – № 4(145). – С. 105–109.
13. Акарицидное средство: пат. РФ 2024252. МПК А61К 7/40 / К.С. Гузев, В.И. Ноздрин, Ю.Т. Волков. – Фармацевтическое НПП «Ретиноиды». – Оpubл. 15.12.1994.
14. Дезинфицирующее средство: пат. РФ 2261089. МПК А61К 31/11, А61L 2/16 / В.В. Макаров, А.А. Петрыкин, Л.С. Путинцева и др. – НПЦ «Биохим-Трейд». – Оpubл. 27.09.2005. – БИ № 27.
15. Медицинский препарат ЭТОЛ: пат. РФ 2104696. МПК А61К 31/045, 31/05 / В.В. Макаров, А.И. Потапов, А.А. Петрыкин и др. – ЗАО НПО «Химсинтез». – Оpubл. 20.02.1998.

16. Пенетрант для люминесцентной дефектоскопии: авторское свидетельство СССР 1767867. МПК С09К 11/6 / Л.Я. Малкес, Р.А. Минакова, А.И. Бедрик и др. – НПО «Монокристаллреактив». – Оpubл. 27.08.1997.
17. Жидкий сцинтиллятор: пат. РФ 2267512. МПК С09К 11/06, С01Т 1/204 / Н.З. Галунов, Б.В. Гринев, Б.М. Красовицкий и др. – Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины. – Оpubл. 10.01.2006. – БИ № 1.
18. Князев, М.Ю. Бензилбензоат: основные методы получения, свойства, применение (обзор) / М.Ю. Князев, Е.В. Траханова, А.В. Артемов, М.В. Дюбанов // Химическая промышленность сегодня. – 2024. – № 4. – С. 29–36.

References

1. Knyazev, M.YU. Sostoyaniye i perspektivy organizatsii proizvodstva importozameshchayushchey produktsii i tsepey yeye postavok na primere analiza rynka benzoynoy kisloty / M.YU. Knyazev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 3(165). – S. 135–140.
2. Knyazev, M.YU. Issledovaniye perspektiv organizatsii proizvodstva benzoata natriya na baze rossiyskoy promyshlennosti / M.YU. Knyazev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 3(165). – S. 141–146.
3. Kompozitsiya dushistyykh veshchestv, obladayushchaya zapakhom tsitrusa: avtorskoye svidetel'stvo SSSR 565057. МПК C11B 9/00 / L.V. Chesnokova, N.I. Druzhinina. – Ural'skiy filial VNIPI khimicheskoy promyshlennosti. – Opubl. 15.07.1977. – BI № 26.
4. Kompozitsiya dushistyykh veshchestv: pat. RF 2049811. МПК C11B 9/00 / I.Z. Gerchikov, M.G. Frolova. – AO «Dzintars». – Opubl. 10.12.1995.
5. Shubitova, N.V. Maz' benzilbenzoata – pervaya otechestvennaya razrabotka stabil'noy lekarstvennoy formy dlya lecheniya chesotki / N.V. Shubitova, S.S. Lugovoy, D.V. Murushkin, K.V. Cherikova // Dermatologiya v Rossii. – 2017. – № 51. – S. 116.
6. Sredstvo dlya lecheniya chesotki (varianty): pat. RF 2242240. МПК A61K 35/8, 31/233, 9/08, A01P 33/14 / Ye.T. Chizhova, I.I. Krasnyuk, I.A. Samylina i dr. – Moskovskaya meditsinskaya akademiya im. I.M. Sechenova. – Opubl. 20.12.2004.
7. Protivopedikuleznoye sredstvo: pat. RF 2042350. МПК A61K 7/40 / G.G. Fokin, A.G. Seleznev. – Opubl. 27.08.1995.
8. Benzilbenzoat v vodno-emul'sionnoy forme: pat. RF 2098081. МПК A61K 9/10 / G.V. Nesterov, A.I. Sedel'nikov, B.S. Zmachinskiy. – NPF «Leves-NN». – Opubl. 10.12.1997.
9. Vasil'yeva, N.V. Antifungal'naya aktivnost' substantsii «benzilbenzoat meditsinskiy» in vitro / N.V. Vasil'yeva, I.V. Vybornova, T.V. Bogdanova, T.N. Bogomolova, Ye.R. Raush, A.N. Mamoshin, G.A. Chilina, D.F. Guranda, L.D. Guranda, A.V. Pikhtar' // Problemy meditsinskoy mikologii. – 2015. – T. 17. – № 3. – S. 35–37.
10. Lopatina, YU.V. Lecheniye golovnogo pedikuleza: sravnitel'naya effektivnost' in vitro sovremennykh pedikulitsidnykh sredstv / YU.V. Lopatina, O.YU. Yeremina // Uchenyye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2014. – № 7(63). – S. 158–159.
11. Kanyukov, V.N. Effektivnost' primeneniya benzilbenzoata u patsiyentov s oftal'modemodekozom / V.N. Kanyukov, V.K. Bannikov, Ye.K. Malygina // International Scientific and Practical Conference World Science. – 2017. – T. 5. – № 3(19). – P. 22–24.
12. Baboyev, KH.I. Effektivnost' primeneniya maslyanogo rastvora benzilbenzoata protiv sarkoptoidnykh kleshchey / KH.I. Baboyev, A.N. Shakhmatov, G.M. Bobiyev i dr. // Izv. AN Respubliki Tadjikistan. Otd. fiz.-mat., khim., geol. i tekhn. nauk. – 2011. – № 4(145). – S. 105–109.
13. Akaritsidnoye sredstvo: pat. RF 2024252. МПК A61K 7/40 / K.S. Guzev, V.I. Nozdrin, YU.T. Volkov. – Farmatsevticheskoye NPP «Retinoidy». – Opubl. 15.12.1994.
14. Dezinfitsiruyushcheye sredstvo: pat. RF 2261089. МПК A61K 31/11, A61L 2/16 / V.V. Makarov, A.A. Petrykin, L.S. Putintseva i dr. – NPTS «Biokhim-Treyd». – Opubl. 27.09.2005. – BI № 27.
15. Meditsinskiy preparat ETOL: pat. RF 2104696. МПК A61K 31/045, 31/05 / V.V. Makarov, A.I. Potapov, A.A. Petrykin i dr. – ZAO NPO «Khimsintez». – Opubl. 20.02.1998.

16. Penetrant dlya lyuminestsentnoy defektoskopii: avtorskoye svidetel'stvo SSSR 1767867. MPK C09K 11/6 / L.YA. Malkes, R.A. Minakova, A.I. Bedrik i dr. – NPO «Monokristallreaktiv». – Opubl. 27.08.1997.

17. Zhidkiy stsintillyator: pat. RF 2267512. MPK C09K 11/06, C01T 1/204 / N.Z. Galunov, B.V. Grinev, B.M. Krasovitskiy i dr. – Institut stsintillyatsionnykh materialov NAN Ukrainy. – Opubl. 10.01.2006. – BI № 1.

18. Knyazev, M.YU. Benzilbenzoat: osnovnyye metody polucheniya, svoystva, primeneniye (obzor) / M.YU. Knyazev, Ye.V. Trakhanova, A.V. Artemov, M.V. Dyubanov // Khimicheskaya promyshlennost' segodnya. – 2024. – № 4. – S. 29–36.

© М.Ю. Князев, 2025

УДК 658.5:69

И.С. РАЗИНА, И.А. ЕГОРОВА, И.В. ЖУКОВА

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИНСПЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ключевые слова: безопасность и качество медицинских изделий (МИ); инспектирование производства; система менеджмента качества (СМК).

Аннотация. Цель работы – проанализировать возможные проблемы, возникающие при инспектировании производства медицинских изделий.

Задачи исследования: ознакомиться с требованиями нормативных документов в области инспектирования производства МИ и выявить основные проблемы, возникающие у производителей в ходе инспектирования.

Проанализированы процессы системы менеджмента качества при производстве медицинских изделий, подлежащие инспектированию согласно Постановлению Правительства РФ от 9 февраля 2022 г. № 135. Выявлены основные проблемы, возникающие при инспектировании, и возможные пути решения.

На сегодняшний день в рамках поддержания высокого уровня качества и безопасности выпускаемой продукции производителям медицинских изделий необходимо иметь налаженную и корректно работающую систему управления качеством.

Система управления качеством медицинских изделий – это комплекс организационных структур, функций, процедур, процессов и ресурсов, обеспечивающий координированное руководство и управление компанией в этой области.

Система позволяет анализировать важные процессы жизненного цикла медицинского изделия, которые оказывают влияние на его качество, и своевременно реагировать на устранение несоответствий при выявлении нарушений.

Для производителей медицинских изделий потенциального класса риска 2а (стерильные), 2б, 3 и для производителей изделий индивидуального изготовления для имплантации инспектирование производства является обязательной процедурой контроля с 2024 г. Поэтому предприятиям, сфокусированным на выпуске данной продукции, необходимо уделить должное влияние системе управления качеством.

Внедрение СМК для изделий класса риска 1 и нестерильных изделий класса риска 2а является добровольным, но внедрение системы на предприятии дает определенные преимущества при внесении изменений в комплект регистрационного досье.

Инспектирование основано на всесторонней оценке системы управления качеством и производственных процессов предприятия. Инспектирование производства медицинских изделий направлено на оценку качества, безопасности и эффективности продукции, проверку системы управления качеством, подтверждение соответствия требованиям ГОСТ ISO 13485-2017, а также на получение допуска к государственной регистрации и выходу на рынок.

Процессы, рассматриваемые в ходе инспекционной проверки производства, представлены на рис. 1.

I. Процесс проектирования и разработки охватывает анализ процедур проектирования и разработки, включая управление рисками. Производитель обязан подтвердить безопасность и эффективность изделия на всех этапах производства и использования, включая оценку рисков и обоснование допустимого уровня риска. Результаты этой оценки, включая информацию о любом остаточном риске, должны быть предоставлены потребителю. Проверяется соответствие характеристик изделия заявленным требованиям безопасности и эффективности

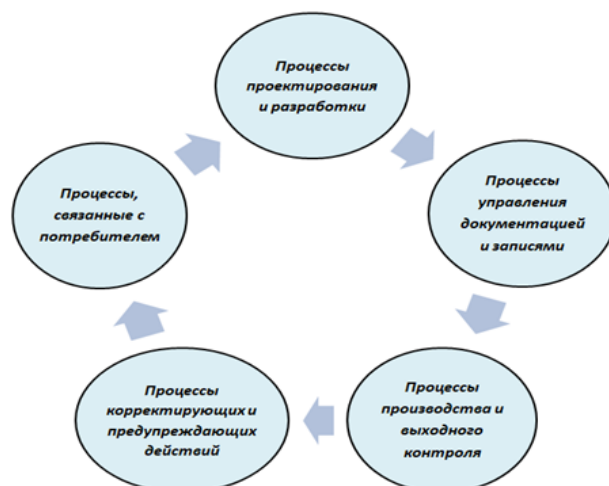


Рис. 1. Процессы, оцениваемые при инспектировании

при его предполагаемом применении [1].

Рассмотрим основные проблемы, которые могут возникнуть на данном этапе. Часто производители не до конца анализируют возможные остаточные риски на разрабатываемое изделие. И явно проявляется нехватка компетентных сотрудников инженерно-технического сектора, которая ведет к некорректной разработке документов и увеличению сроков процесса «проектирования и разработки» [2].

II. Система управления документацией и записями в системе менеджмента качества медицинских изделий включает в себя проверку соответствия проектной документации требованиям безопасности и эффективности на всех стадиях разработки. Анализ спецификаций подтверждает определение параметров, что изделие разработано для безопасного и эффективного использования, а система управления рисками обоснована и включает установленные критерии приемлемого уровня риска (включая инструкцию по применению и спецификации), результаты верификации и валидации, информацию о маркировке и документацию по управлению рисками [1].

На данном этапе одной из основных проблем является недостаточное знание сотрудниками предприятий правил и корректного оформления документов и записей, связанных с системой менеджмента качества, что ведет к несовпадению данных в записях. Также отсутствие практики проверки корректности заполнения записей и систематизации записей на предприятии может привести к замечаниям и

несоответствиям во время проведения инспектирования.

III. Аудит включает анализ производственных процессов и выходного контроля медицинских изделий, включая условия производства и процессы стерилизации (для стерильных изделий). Проверяется наличие документации по стерилизации, записей параметров процесса для каждой партии, валидация процесса и его соответствие установленным параметрам. Требуется документальное подтверждение управляемости и контролируемости производственных процессов, а также контроля над критическими поставщиками. Необходимо подтвердить наличие системы идентификации и прослеживаемости изделий и процессов, а также их соответствие нормативным требованиям. Включается также проверка эффективности выходного контроля, гарантирующего соответствие готовой продукции нормативной документации [1].

Основные проблемы, с которыми можно столкнуться на данном этапе, – это отсутствие корректно выстроенной системы отслеживания продукции от конечного продукта до исходного сырья и наоборот; отсутствие валидации технологических процессов изготовления продукции, которые невозможно отследить при приемке продукции [3]; отсутствие контроля выпускаемой продукции, что является самым большим несоответствием при производстве продукции; отсутствие контроля за инфраструктурой средой производства, что может привести отклонению от выработанных норм выпуска продукции и контроля за контрольно-

измерительными средствами, что может привести к отклонению от выработанных норм выпуска продукции [4; 5].

IV. Система управления качеством медицинских изделий должна иметь эффективные процедуры корректирующих и предупреждающих действий, а также подтверждение наличия мер, предотвращающих распространение некачественных медицинских изделий. Необходимо документальное подтверждение результативности этих действий. Основная проблема, которая может возникать на данном этапе, – это отсутствие анализа несоответствий на предприятии и своевременное реагирование на них [5].

V. Оценка процессов взаимодействия с потребителями включает проверку наличия у производителя механизмов обратной связи для осуществления корректирующих и предупреждающих действий. Необходимо документальное подтверждение анализа этой обратной связи на протяжении всего жизненного цикла продукта для переоценки рисков и корректировки системы управления рисками [1].

Основная проблема, которая чаще всего возникает в реализации данного процесса, – это отсутствие грамотно налаженных инструментов сбора обратной связи от потребителя, что может привести к тому, что производитель не своевременно улучшает и модифицирует свою продукцию.

Вывод: потребители стремятся приобрести товары и услуги высокого качества, соответствующие их требованиям и бюджету. Они готовы платить больше за качественное предложение, однако успешный выпуск такого продукта требует грамотной организации бизнеса и строгого контроля производства в соответствии с необходимыми характеристиками – вкусом, техническими параметрами и практичностью.

Рынок предлагает разнообразные варианты, предоставляя покупателям свободу выбора. Преимущество получают те компании, которые смогут документально подтвердить высокое качество и безопасность своего продукта через международные сертификаты. Это требует налаживания эффективного взаимодействия между продавцом и покупателем, заказчиком и исполнителем.

Система менеджмента качества – это эффективный инструмент для предприятия, который помогает улучшить управление качеством продукции, снизить затраты и соответствовать ожиданиям клиентов. Концепция SMK может варьироваться, но в основе лежит определенная философия, воплощаемая через конкретные механизмы. Именно поэтому производителям продукции необходимо анализировать, поддерживать и постоянно совершенствовать действующую систему менеджмента качества.

Список литературы

1. Безменова, Н. SMK в сфере производства медицинских изделий / Н. Безменова // Стандарты и качество. – 2017. – № 10. – С. 58–60.
2. Жукова, И.В. Создание и внедрение утилиты дополненной реальности для тренажера аускультации / И.В. Жукова, И.С. Разина, И.А. Валеев // Reports Scientific Society. – 2023. – № 11(43). – С. 17–20.
3. Герцик, Ю.Г. Перспективы применения контроллинга в оценке соответствия системы менеджмента качества на предприятиях медицинской промышленности / Ю.Г. Герцик // Контроллинг. – 2021. – № 1(79). – С. 18–23.
4. Овинникова, С.С. Контроль качества производства медицинских изделий в рамках законодательства ЕАЭС / С.С. Овинникова // Сборник материалов конференции с международным участием / под общ. ред. С.Г. Марданлы. – Орехово-Зуево – Электрогорск : Государственный гуманитарно-технологический университет, 2022. – С. 79–80.
5. Разина, И.С. Регистрация медицинского программного обеспечения / И.С. Разина, И.В. Жукова, С.Н. Иванова // Перспективы науки. – 2022. – № 7(154). – С. 23–26.

References

1. Bezmenova, N. SMK v sfere proizvodstva meditsinskikh izdeliy / N. Bezmenova // Standarty i kachestvo. – 2017. – № 10. – S. 58–60.
2. Zhukova, I.V. Sozdaniye i vnedreniye utility dopolnennoy real'nosti dlya trenazhera

auskul'tatsii / I.V. Zhukova, I.S. Razina, I.A. Valeyev // Reports Scientific Society. – 2023. – № 11(43). – S. 17–20.

3. Gertsik, YU.G. Perspektivy primeneniya kontrollinga v otsenke sootvetstviya sistemy menedzhmenta kachestva na predpriyatiyakh meditsinskoy promyshlennosti / YU.G. Gertsik // Kontrolling. – 2021. – № 1(79). – S. 18–23.

4. Ovinnikova, S.S. Kontrol' kachestva proizvodstva meditsinskikh izdeliy v ramkakh zakonodatel'stva YEAES / S.S. Ovinnikova // Sbornik materialov konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem / pod obshch. red. S.G. Mardanly. – Orekhovo-Zuyevo – Elektrogorsk : Gosudarstvennyy gumanitarno-tekhnologicheskii universitet, 2022. – S. 79–80.

5. Razina, I.S. Registratsiya meditsinskogo programmogo obespecheniya / I.S. Razina, I.V. Zhukova, S.N. Ivanova // Perspektivy nauki. – 2022. – № 7(154). – S. 23–26.

© И.С. Разина, И.А. Егорова, И.В. Жукова, 2025

УДК 62.5

С.А. ЧУПИС, Д.А. СКВОРЦОВА, Е.В. ЕРШОВА

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НА МАШИНЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК

Ключевые слова: автоматизация анализа показателей; машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ); машинное обучение; остаточный ресурс; эффективность управления.

Аннотация. Анализ производственных данных в режиме реального времени становится критически важной информацией на различных операционных уровнях. В связи с этим повышается актуальность исследования данной проблемы. Цели статьи – провести детальный анализ показателей производственных процессов, рассмотреть основные проблемы, связанные с работоспособностью оборудования, и определить основные методы анализа данных в промышленности. Задачи: отметить значение Диптихов геометрических показателей заготовок, полученных на МНЛЗ, выделить точность анализа остаточного ресурса по элементам МНЛЗ, произвести обзор существующих методов анализа данных. Гипотеза исследования: построенная система позволит повысить эффективность оценки/прогнозирования остаточного ресурса. Методы исследования: анализ научной литературы и стандартов. Достигнутые результаты: проведенный анализ показал, что интеграция современных методов анализа данных и автоматизация производственных показателей повышают эффективность и надежность работы производственных систем.

Обеспечение работоспособности оборудования с минимальными затратами является актуальной задачей для различных производств. Основной производственной проблемой для машины непрерывного литья заготовок, которая является установкой, преобразующей жидкую сталь в твердые заготовки заданного сечения, заключается в том, что на поверхности

медной трубы гильзы появляются дефекты, искажающие профиль ее внутренней полости [1]. Это нарушает тепловой режим, что, в свою очередь, влияет на качество получаемых слитков. Дефекты продукции приводят к дальнейшим проблемам при прокатке: снижение качества продукции и количество брака отрицательно влияют на экономическую эффективность производства [2]. Другой проблемой является более короткий срок службы медных гильз кристаллизатора, используемой в производстве. Данная проблема часто связана с изменением параметров работы самой машины непрерывного литья заготовок. К таким параметрам относятся температура поступающего расплавленного металла, температура охлаждающей воды и другие.

Механическое оборудование на технологических линиях, включая машину непрерывного литья заготовок (ТЛ МНЛЗ), подвергается интенсивным тепловым и энергосиловым воздействиям во время разлива жидкого металла, что приводит к быстрой потере работоспособности [1; 2]. Это вызывает преждевременный выход из строя деталей и аварийные остановки линии. Мониторинг геометрических параметров заготовок на металлургических заводах играет ключевую роль в обеспечении качества продукции, оптимизации производства, снижении потерь и обеспечении безопасности. Ключевые аспекты, определяющие важность этого мониторинга, следующие.

1. Обеспечение качества продукции.
2. Оптимизация производственных процессов.
3. Снижение потерь и увеличение производительности.
4. Обеспечение безопасности.

Применение искусственного интеллекта и машинного обучения в промышленности по-

звояет эффективно использовать данные для обнаружения неисправностей, анализа качества продукции и определения остаточного срока службы оборудования. Анализ остаточного ресурса элементов МНЛЗ важен для управления запасами, оптимизации производственных процессов и предсказания сроков выполнения заказов [3]. Это помогает компаниям избежать излишков или нехватки запасов, снизить издержки на хранение и управление запасами, повысить удовлетворенность клиентов и избежать простоев производства.

Определение остаточного ресурса (*Remaining Useful Life – RUL*) – ключевая задача в диагностике и переходе к обслуживанию по состоянию (*condition-based maintenance*). ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 определяет его как время до неработоспособности или необходимости ремонта [4]. Оценка *RUL* позволяет планировать ремонты, оптимизировать обслуживание и режимы работы, избегать внеплановых остановок, а также выявлять факторы, влияющие на сокращение ресурса.

Для прогнозирования *RUL* используются данные о работе оборудования, времени работы до отказа и допустимых значениях параметров. Существуют различные подходы: статистическая оценка (функции распределения времени до отказа), прогноз параметров (модели деградации), модели регрессии (выделение признаков из временных рядов) и анализ схожести с историческими паттернами.

Автоматизация анализа качественных производственных показателей важна для выявления тенденций и улучшения производственной деятельности. *MES*-системы (системы управления производством) и *ERP*-системы (системы управления ресурсами предприятия) являются популярными инструментами для анализа данных, обеспечивая мониторинг, отслеживание и контроль производственных процессов.

MES-системы предоставляют данные для принятия решений в режиме реального времени и оптимизируют бизнес-процессы, обнаруживая и предотвращая неисправности, сокращая брак и потребление ресурсов [5].

ERP-системы, интегрируя данные и процессы производства, автоматизируют планирование, распределение ресурсов и управление запасами. Интеграция *ERP* и *MES* создает согласованный и оптимизированный производственный процесс, улучшая эффективность и скорость выполнения операций [5].

SCADA-системы (*Supervisory Control And Data Acquisition*) также используются для автоматизации контроля и управления технологическими процессами в реальном времени, предоставляя оператору полную информацию и средства воздействия на процесс [6]. *SCADA*-системы обеспечивают контроль и управление производственными процессами посредством взаимодействия с заводским оборудованием и анализа данных в реальном времени. Автоматизация анализа производственных показателей достигается за счет использования датчиков *IoT*, которые собирают и передают данные о физических параметрах для последующего анализа. Датчики (преобразователи) преобразуют физические явления в электрические импульсы, а приводы выполняют обратное действие, обеспечивая автоматизацию в промышленных масштабах.

Системы мониторинга, включающие сбор и анализ данных, предназначены для непрерывного контроля ключевых производственных параметров. Эффективный мониторинг включает сбор данных, визуализацию, анализ, оповещения и интеграцию с *ERP* и *MES*. Для мониторинга используются *MES*, *CMMS*, *EMS*, *WMS*. Сбор данных осуществляется с использованием протоколов *OPC*, *Modbus TCP*, *Siemens TCP*, *Ethernet/IP*, *ADS*, *PROFINET*, *EtherCAT*. Целью мониторинга является создание взаимосвязанной производственной экосистемы с бесшовной интеграцией. Автоматизированную систему управления технологическим процессом (*АСУ ТП*) можно представить в виде трехуровневой системы.

Анализ производственных данных в режиме реального времени становится критически важной информацией на различных операционных уровнях. Тенденция автоматизированного анализа качественных производственных показателей направлена на предиктивную аналитику, где системы не только сообщают о том, что произошло, но также прогнозируют будущие результаты и предписывают действия по улучшению. Этот подход предполагает предупреждение проблем до их возникновения и оптимизацию операций в режиме реального времени.

Обеспечение надежной и эффективной работы производственного оборудования является важным фактором для промышленности. Существующие методы профилактического и корректирующего обслуживания зачастую ока-

зываются недостаточно эффективными в современных условиях, что приводит к увеличению затрат.

Очень важно отметить значение диптихов геометрических показателей заготовок, полученных на МНЛЗ. Точные измерения и анализ этих показателей позволяют значительно повысить качество конечной продукции и снизить процент брака.

Выделена точность анализа остаточного ресурса по элементам МНЛЗ. Своевременное проявление аномалий и прогнозирование оставшихся сроков службы оборудования допускают предотвращение аварийных простоев и снижение затрат на ремонт.

Обзор существующих методов анализа данных показал, что использование современ-

ных технологий машинного обучения и анализа больших данных позволяет значительно повысить точность прогнозов и эффективность управления производственными процессами.

Рассмотрены автоматизированные методы анализа качественных производственных показателей, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в производственном процессе и принимать обоснованные решения по его оптимизации.

Таким образом, проведенный анализ показал, что интеграция современных методов анализа данных и автоматизация производственных показателей являются ключевыми факторами для повышения эффективности и надежности работы производственных систем.

Список литературы

1. Савельев, А.Н. Оценка режима восстановления оборудования технологической линии «Машина непрерывного литья заготовок» / А.Н. Савельев, С.С. Северьянов, М.И. Тарасов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2016. – № 4(18). – С. 36–40.
2. Контанистов, М.Е. Влияние химического состава стали, состояния оборудования МНЛЗ и технологических параметров разлива на возникновение поверхностных и внутренних дефектов непрерывнолитой заготовки / М.Е. Контанистов, С.В. Терлецкий, В.А. Шатил // Литье и металлургия. – 2013. – № 1(69). – С. 28–31.
3. Saeideh, K.E. A review on inkjet printing of CNT composites for smart applications / K.E. Saeideh, C. Amutha, W.A.D.M. Jayathilaka, M. Marziyeh, E. Elahieh, R. Seeram // Elsevier Ltd. – 2017. – P. 373–383.
4. Волков, М.Д. Существующие модели оценки остаточного ресурса конструкций и их сравнительный анализ / М.Д. Волков, А.В. Кибкало // Молодой ученый. – 2016. – № 25(129). – С. 24–26.
5. Зотова, Е.А. Интеграция ERP и MES-систем / Е.А. Зотова // Молодой ученый. – 2019. – № 4(242). – С. 1–3.
6. Тарасов, В.Б. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы / В.Б. Тарасов, М.Н. Святкина // Наука и образование. – 2018. – № 4. – С. 217–225.
7. Скворцова, Д.А. Анализ коэффициентов корреляции показателей целей устойчивого развития / Д.А. Скворцова, Б.А. Швайко, Н.О. Романов, Н.А. Филин // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 12(162). – С. 48–51.
8. Хасанов, Т.А. Развитие Интернета вещей и его роль в современной логистике / Т.А. Хасанов, Д.А. Скворцова, Б.А. Эдаев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 5(155). – С. 113–117.
9. Швайко, Б.А. Обзор методов нормализации критериев устойчивого развития / Б.А. Швайко, Д.А. Скворцова, А.А. Кузнецов, Н.О. Романов // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 12(150). – С. 44–47.

References

1. Savel'yeu, A.N. Otsenka rezhima vosstanovleniya oborudovaniya tekhnologicheskoy linii «Mashina nepreryvnogo lit'ya zagotovok» / A.N. Savel'yeu, S.S. Sever'yanov, M.I. Tarasov // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta. – 2016. – № 4(18). – S. 36–40.
2. Kontanistov, M.Ye. Vliyaniye khimicheskogo sostava stali, sostoyaniya oborudovaniya MNLZ

i tekhnologicheskikh parametrov razlivki na vozniknoveniye poverkhnostnykh i vnutrennikh defektov nepreryvnolitoi zagotovki / M.Ye. Kontanistov, S.V. Terletskiy, V.A. Shatil // Lit'ye i metallurgiya. – 2013. – № 1(69). – S. 28–31.

3. Saeideh, K.E. A review on inkjet printing of CNT composites for smart applications / K.E. Saeideh, C. Amutha, W.A.D.M. Jayathilaka, M. Marziyeh, E. Elaheh, R. Seeram // Elsevier Ltd. – 2017. – P. 373–383.

4. Volkov, M.D. Sushchestvuyushchiye modeli otsenki ostatochnogo resursa konstruktivnykh i ikh sravnitel'nyy analiz / M.D. Volkov, A.V. Kibkalo // Molodoy uchenyy. – 2016. – № 25(129). – S. 24–26.

5. Zotova, Ye.A. Integratsiya ERP i MES-sistem / Ye.A. Zotova // Molodoy uchenyy. – 2019. – № 4(242). – S. 1–3.

6. Tarasov, V.B. Intellektual'nyye SCADA-sistemy: istoki i perspektivy / V.B. Tarasov, M.N. Svyatkina // Nauka i obrazovaniye. – 2018. – № 4. – S. 217–225.

7. Skvortsova, D.A. Analiz koeffitsiyentov korrelyatsii pokazateley tseley ustoychivogo razvitiya / D.A. Skvortsova, B.A. Shvayko, N.O. Romanov, N.A. Filin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 12(162). – S. 48–51.

8. Khasanov, T.A. Razvitiye Interneta veshchey i yego rol' v sovremennoy logistike / T.A. Khasanov, D.A. Skvortsova, B.A. Edayev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 5(155). – S. 113–117.

9. Shvayko, B.A. Obzor metodov normalizatsii kriteriyev ustoychivogo razvitiya / B.A. Shvayko, D.A. Skvortsova, A.A. Kuznetsov, N.O. Romanov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 12(150). – S. 44–47.

© С.А. Чупис, Д.А. Скворцова, Е.В. Ершова, 2025

УДК 004.89

О.В. БУЛЫГИНА

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Смоленск

НЕЧЕТКИЙ БИОЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ СОЗДАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ

Ключевые слова: биоэвристики; гибридизация; нечеткая логика; условная оптимизация; формирование программы; *Bat Algorithm*.

Аннотация. Логистические потоки в химико-технологической системе переработки рудного сырья подразделяются на прямые (движение ресурсов, полуфабрикатов и продуктов по цепи поставок) и обратные (отправка отходов обогащения в хвостохранилища). Ввиду того, что многие хвостохранилища уже переполнены, особую значимость приобретает задача построения системы вторичной переработки накопленных отходов, которая должна включать множество производственных и складских объектов, объединенных логистическими потоками. Целью статьи является разработка экономико-математического метода формирования программы создания такой системы в рамках выделяемого бюджета и с учетом железнодорожной инфраструктуры. С математической точки зрения, требуется определить «оптимальный» набор взаимосвязанных проектов (по строительству фабрик, по переработке отходов и складов для хранения их продуктов) в многомерном пространстве признаков по нескольким критериям с учетом набора ограничений. Для решения поставленной задачи оптимизации был предложен гибридный метод, основанный на биоэвристике, вдохновленной эолокацией летучих мышей, и нечетко-логической системе. Результаты тестирования подтвердили перспективность его использования для решения масштабных задач условной оптимизации в программном менеджменте.

Введение

Немаловажную роль при управлении химико-технологической системой переработки рудного сырья играет организация логистических процессов по перемещению ресурсов, полуфабрикатов и продуктов между ее участниками. Все логистические потоки в таких системах можно разделить на два вида:

- прямые потоки – перемещение материальных и энергетических ресурсов от месторождений до мест их переработки, хранения и потребления;
- обратные потоки – «возвратное» движение продуктов, восстановление потребительских свойств которых невозможно (требуется либо их переработка, либо утилизация), по цепи поставок.

Среди обратных логистических потоков особый интерес представляют те, которые связаны с отходами производства. В первую очередь это обусловлено тем, что многие хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов уже переполнены. В то же время строительство новых хвостохранилищ представляется нерациональным, поскольку в будущем они станут источниками экологической опасности. Перспективным способом решения этой проблемы является вторичная переработка отходов (как уже накопленных, так и формируемых в процессе обогащения рудного сырья). Создание таких производств позволит снизить нагрузку на окружающую среду, а также обеспечит экономии экологических затрат, увеличение эффективности деятельности предприятий и улучшение

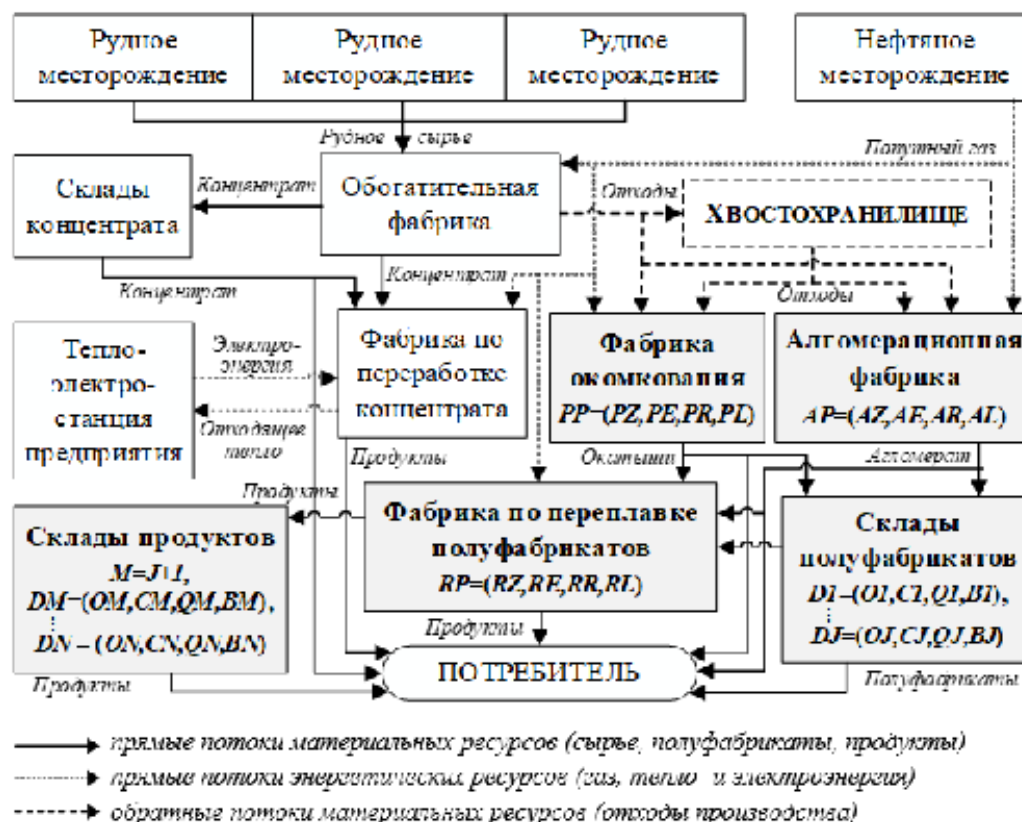


Рис. 1. Логистические потоки в химико-технологической системе переработки отходов обогащения руды

ние их репутации.

Таким образом, возникает актуальная задача построения химико-технологической системы многостадийной переработки отходов обогащения руды, которая требует строительства производственных и складских объектов и организации логистических потоков между ними.

Постановка задачи формирования программы создания химико-технологической системы переработки отходов обогащения руды

Химико-технологическая система переработки отходов обогащения руды включает большое число участников, связанных между собой сложными логистическими потоками (рис. 1). Основным способом перемещения материальных ресурсов (сырья, полуфабрикатов, продуктов) является железнодорожный транспорт (используются специальные вагоны – думпкары или хопперы). В этой связи ключе-

вым направлением повышения эффективности обратных логистических потоков выступает поиск наилучшего варианта размещения производственных и складских объектов, входящих в химико-технологическую систему вторичной переработки отходов, с учетом железнодорожной инфраструктуры.

Решение указанной задачи заключается в подборе площадок под строительство фабрик по производству окатышей, агломерата и продуктов их переплавки, а также складов для временного хранения. Ее математическая постановка (рис. 2) вытекает из концептуальной постановки, которая исходит из необходимости определения наиболее экономически выгодного варианта возведения объектов (трех фабрик и нескольких складов) для достижения целей программы создания химико-технологической системы переработки отходов с учетом бюджетных и транспортных ограничений.

Из рис. 2 следует, что поставленная задача сводится к поиску набора взаимосвязан-

Формирование множества площадок под фабрик $P^* = (PP^*, AP^*, RP^*)$	$PP^* = \{PP_1, \dots, PP_{S1}\},$ $AP^* = \{AP_1, \dots, AP_{S2}\},$ $RP^* = \{RP_1, \dots, RP_{S3}\}$	$DI^* = \{DI_1, \dots, DI_{Z1}\},$ $\vdots$ $DN^* = \{DN_1, \dots, DN_{Z2}\}$	Формирование множества площадок под склады $D^* = (DI^*, \dots, DN^*)$
Определение технических требований к площадкам $Z = (PZ, AZ, RZ)$	$PZ = (PZ_1, \dots, PZ_{U1}),$ $AZ = (AZ_1, \dots, AZ_{U2}),$ $RZ = (RZ_1, \dots, RZ_{U3})$	$OI = (OI_1, \dots, OI_{W1}),$ $\vdots$ $ON = (ON_1, \dots, ON_{W2})$	Определение технических требований к площадкам $O = (OI, \dots, ON)$
Отбор площадок, которые соответствуют требованиям $P = (PP, AP, RP)$	$PP = \{PP_i\}, i = [1, S4], S4 \leq S1,$ $AP = \{AP_j\}, j = [1, S5], S5 \leq S2,$ $RP = \{RP_l\}, l = [1, S6], S6 \leq S3$	$DI = \{DI_{kl}\}, kl = [1, YI], YI \leq WI,$ $\vdots$ $DN = \{DN_{km}\}, km = [1, YN], YN \leq WN$	Отбор площадок, которые соответствуют требованиям $D = (DI, \dots, DN)$
Оценка капитальных затрат на строительство фабрик $E = (PE, AE, RE)$	$h_1: PP \rightarrow PE, PP = PE $ $h_2: AP \rightarrow AE, AP = AE $ $h_3: RP \rightarrow RE, RP = RE $	$g_1: DI \rightarrow CI, DI = CI $ $\vdots$ $g_N: DN \rightarrow CN, DN = CN $	Оценка капитальных затрат на строительство складов $C = (CI, \dots, CN)$
Оценка рисков проектов по строительству фабрик $R = (PR, AR, RR)$	$h_4: PP \rightarrow PR, PP = PR $ $h_5: AP \rightarrow AR, AP = AR $ $h_6: RP \rightarrow RR, RP = RR $	$g_{N+1}: DI \rightarrow QI, DI = QI $ $\vdots$ $g_{2N}: DN \rightarrow QN, DN = QN $	Оценка рисков проектов по строительству складов $Q = (QI, \dots, QN)$
Расчет расстояния от хвостохранилища до фабрик $L = (PL, AL, RL)$	$h_7: PP \rightarrow PL, PP = PL $ $h_8: AP \rightarrow AL, AP = AL $ $h_9: RP \rightarrow RL, RP = RL $	$g_{2N+1}: DI \rightarrow BI, DI = BI $ $\vdots$ $g_{3N}: DN \rightarrow BN, DN = BN $	Расчет расстояния от фабрик до складов $B = (BI, \dots, BN)$
Определение наилучшего варианта набора проектов (программы) X^{opt}	$X = PP^* \cdot AP^* \cdot RP^* \cdot DI^* \cdot \dots \cdot DN^*,$ $ X = PP \cdot AP \cdot RP \cdot DI \cdot \dots \cdot DN $		$X^{opt} = \arg \min_{x \in X} f_0(\text{risk}, \text{dist}, f_1(x), f_2(x), f_3(x))$

Рис. 2. Математическая постановка задачи формирования программы создания химико-технологической системы переработки отходов

ных проектов (т.е. программы) в многомерном пространстве признаков по трем критериям (совокупным капитальным затратам, уровню рискованности, протяженности железнодорожных путей, по которым производится доставка сырья и полуфабрикатов до возводимых объектов). Таким образом, она относится к многокритериальной оптимизации, которую можно решить путем сведения к однокритериальной задаче за счет введения системы ограничений.

Гибридный биоэвристический метод решения поставленной задачи

Концептуальная постановка решаемой задачи не требует нахождения «строго оптимального» набора проектов для формирования программы, т.е. позволяет использовать метаэвристики, которые способны находить близкие к таковому решения за приемлемое время [1]. В последние годы особое развитие получили биоэвристики, вдохновленные поведенческими паттернами социальных животных (в большинстве случаев они связаны с поиском пищи, охотой, миграцией, размножением), обитающих в разных средах (наземно-воздушной, водной, почвенной). Такие алгоритмы основаны на популяционном подходе, когда каждая особь ве-

дет себя «примитивно», а вся колония – «разумно» за счет специального механизма взаимодействия между ее членами и/или с внешней средой.

На сегодняшний день известно свыше 150 алгоритмов, которые моделируют коллективное поведение децентрализованной биологической системы (так называемый «роевой интеллект», от англ. *Swarm Intelligence*) [2]. Однако согласно теореме «об отсутствии бесплатных обедов» не существует универсального алгоритма, способного «успешно» решать любые задачи поиска наилучших решений [3]. Выбор конкретной биоэвристики определяется концептуальной и математической постановками задачи и особенностями выполнения поисковых операций.

Для решения поставленной задачи использовалась биоэвристика *Bat Algorithm (BA)*, которая вдохновлена эхолокацией летучих мышей, используемой для ориентации и охоты в условиях низкой освещенности [4]. Ее суть состоит в том, что летучие мыши издают короткие (5–20 мс), громкие (до 110 дБ) звуки высокой частоты (25–150 кГц) для обнаружения добычи на основании рефлекторного анализа эхо-сигналов, отраженных от объектов окружающей среды, находящихся на расстоянии до 20–40 м.

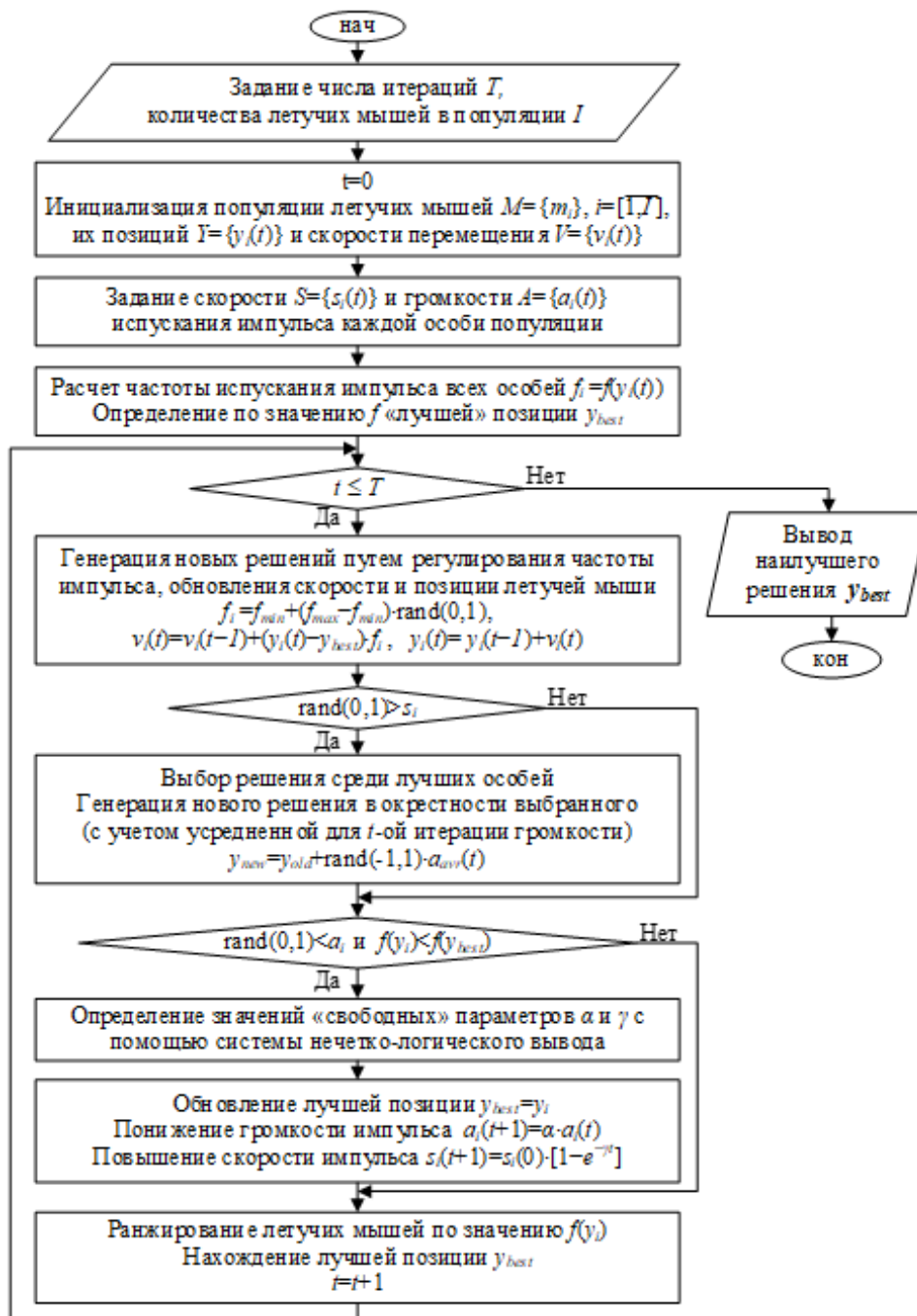


Рис. 3. Блок-схема модифицированного BA-алгоритма

Канонический BA-алгоритм предложен Xin-She Yang в 2010 г. и является развитием метаэвристических алгоритмов роя частиц (*Particle Swarm Optimization*) и гармонического поиска (*Harmony Search*). В его основе лежит положение о том, что все летучие мыши используют эхолокацию для определения расстояния, отличают добычу от других объектов окру-

жающей среды, способны регулировать частоту и скорость испускания импульсов в зависимости от близости жертвы.

Эффективность большинства биоэвристик зависит от «свободных» параметров, для которых разработчиками не сформулированы «четкие» рекомендации, а лишь задана область определения (обычно их значения выбираются

путем ручного или автоматизированного подбора). Таковыми параметрами ВА-алгоритма являются $\alpha \in (0,1)$ и $\gamma \in (0, +\infty)$, используемые для изменения громкости и скорости выпускаемых летучими мышами импульсов по мере приближения к добыче. Неправильный выбор их значений отражается на сходимости алгоритма, делая ее либо слишком медленной, либо быстрой (в результате чего существует возможность «застрять» в локальном экстремуме или «перескочить» через глобальный экстремум) [5]. Для решения этой проблемы предлагается корректировать значения «свободных» параметров на каждой итерации с помощью системы нечетко-логического вывода по алгоритму Ларсена, на вход которой дополнительно подаются: удаленность итерации (номер текущей итерации, деленный на их общее число) и доля итераций, на которых происходило изменение «лучшей» позиции (т.е. улучшалось значение фитнес-функции). Блок-схема модифицированного ВА-алгоритма показана на рис. 3.

Для проверки адекватности гибридного метода формирования программы создания химико-технологической системы переработки отходов обогащения руды применялась имитационная процедура. С использованием генератора случайных чисел было сформировано множество проектов по строительству фабрик окомкования (20 вариантов), агломерации

(20 вариантов) и переплавки (15 вариантов) и пяти складов временного хранения их продуктов (20, 20, 25, 15, 15 вариантов соответственно), характеризующихся набором из трех параметров (капитальными затратами, уровнем рискованности, протяженностью железнодорожных путей для доставки сырья и полуфабрикатов), а также были определены ограничения задачи. В качестве фитнес-функции рассматривался экономический эффект от реализации программ с учетом влияния проектных рисков. С использованием разработанного гибридного биоэвристического метода был определен «квазиоптимальный» набор проектов (для строительства трех фабрик и пяти складов), который с допустимой для подобных задач погрешностью отличался от «оптимального», полученного в результате ручного подбора.

Заключение

Научно-практическая значимость предложенной модификации ВА-алгоритма (путем введения элементов нечеткости) заключается в возможности его использования для решения крупномасштабных задач условной оптимизации в программном менеджменте в части развития инструментов формирования наилучшего состава взаимосвязанных проектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Список литературы

1. Булыгина, О.В. Использование алгоритмов роевого интеллекта для определения состава мультипроекта / О.В. Булыгина, Д.Д. Ярцев, А.В. Зедаина, О.В. Леднева // Прикладная информатика. – 2024. – Т. 19. – № 6. – С. 44–58.
2. Molina, D. Comprehensive taxonomies of nature- and bio-inspired optimization: inspiration versus algorithmic behavior, critical analysis recommendations / D. Molina, J. Poyatos, J.D. Ser, S. García, A. Hussain, F. Herrera // Cognitive Computation. – 2020. – Vol. 12. – No. 1. – P. 897–939.
3. Wolpert, D.H. No free lunch theorems for optimization / D.H. Wolpert, W.G. Macready // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1997. – Vol. 1. – No. 1. – P. 67–82.
4. Yang, X.-S. A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm / X.-S. Yang // Studies in Computational Intelligence. – 2010. – Vol. 284. – P. 65–74.
5. Булыгина, О.В. Направления гибридизации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики для решения оптимизационных задач в социально-экономических системах / О.В. Булыгина, Д.Д. Ярцев, Н.Н. Прокимов, Е.К. Верейкина // Прикладная информатика. – 2024. – Т. 19. – № 5. – С. 65–87.

References

1. Bulygina, O.V. Ispol'zovaniye algoritmov royeвого интеллекта dlya opredeleniya sostava mul'tiproyekta / O.V. Bulygina, D.D. Yartsev, A.V. Zedaina, O.V. Ledneva // Prikladnaya informatika. – 2024. – T. 19. – № 6. – S. 44–58.

5. Bulygina, O.V. Napravleniya gibridizatsii algoritmov royeвого интеллекта i nechetkoy logiki dlya resheniya optimizatsionnykh zadach v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh / O.V. Bulygina, D.D. Yartsev, N.N. Prokimnov, Ye.K. Vereykina // Prikladnaya informatika. – 2024. – T. 19. – № 5. – S. 65–87.

© О.В. Булыгина, 2025

UDC 303

I.B. ELISTRATOVA¹, N.G. PIKUZO²¹Siberian State University of Telecommunications and Informatics;²Siberian University of Consumer Cooperatives, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR STRATEGIC DATA CENTER RESOURCE MANAGEMENT

Keywords: strategic management; simulation model; energy efficiency; artificial intelligence; data center.

Abstract. The study aims to develop a universal, scalable data center management model. Problems to be solved are to analyze the overall data center infrastructure, considering different ways of its implementation, to analyze the most important problems of resource management, to develop and justify an integrated strategic method of resource management. The study resulted in the development of a universal model that can effectively manage different types of data centers. The hypothesis of the research: suggests that introduction of a universal model for strategic planning and development of data centers, taking into account modularity, with scalability suitable for all types and sizes of data centers, which leads to optimization of key operational characteristics and affects all significant hierarchical levels of characteristics, including cross-system and global economic parameters.

Introduction

Modern data centers are complex infrastructure facilities designed for the centralized placement of information technologies, including servers, databases, and network equipment. These facilities can range from compact server rooms to large complexes that provide continuous power supply for critical systems and can consume energy equivalent to that of small cities.

Data centers perform critical functions of storing, processing, and transmitting vast amounts of information relevant to various areas of activity, including banking, telecommunications, health-care, as well as public and private organizations.

The strategic development of data centers can be divided into three key areas: consolidation, virtualization, and energy efficiency. These areas play a fundamental role in ensuring long-term progress in this area and help to clearly define the paths for further development of data centers, which in turn contributes to their efficiency. Let's consider each direction in more detail. The first trend, consolidation, has two main aspects. The current landscape is one of consolidation of smaller companies into larger players, particularly in the data center space. Large corporations such as Intel and HP are developing integration programs that allow smaller organizations to pool their information resources using advanced technology solutions. The second key trend is virtualization. This approach is an effective means of optimizing resources and increasing the performance of data centers. Virtualization helps reduce hardware and energy costs and ensures more efficient use of available resources. It simplifies the management and upgrade of data center systems by allowing resources such as memory and processing power to be distributed across physical servers to optimize equipment use.

The third trend, maximizing energy efficiency in data centers, is aimed at reducing energy costs, which can be significant due to the large number of servers. However, it should be noted that there is a connection between these trends and environmental as well as economic factors, since the efficiency of data center operation directly affects energy and personnel costs. Recently, companies are increasingly focusing on environmentally friendly technology, which will not only help reduce energy costs, but also protect the environment [1; 2].

The relevance of the article lies in the development of a universal scalable data center management model, in which consolidation, virtualization and energy efficiency are global trends in the strategic development of data centers. These areas

Table 1. Data Center Management Models

Management model	Description
Warehouse type	This model is characterized by the use of large premises for storing and processing large amounts of data. It allows for the efficient management of large amounts of information due to the ability to process data quickly
Supercomputer Information Center	Based on the use of supercomputers capable of processing a huge number of operations per second, this model provides services that emphasize high-performance computing, with storage services playing a secondary role
Public or private cloud	This model functions as a remote node, providing customers with data storage and processing capabilities without having to purchase their own hardware and software
Colocation center	These centers provide space to house client equipment needed to store and process data

are aimed at reducing the costs of maintaining and operating the IT infrastructure. Data center management should take into account these trends and take measures to optimize economic costs during their construction and operation. In recent years, there has been a significant increase in interest in the use of neural networks as a tool that is actively used in various fields to solve problems of forecasting, classification and management. The data center services sector is experiencing a phase of intensive development and modernization. The main problems in this area are related to the need to improve the efficiency of data processing, reduce operating costs, and ensure environmental safety and sustainability. Intensive development of data centers requires strategic planning, which is a key management activity necessary for effective strategic management. It requires managers to have mastered modern management methods, to be able to foresee developments and to adapt to a rapidly changing environment. The term “strategic planning” covers the management function associated with setting goals and developing strategies to achieve them, as described by M.M. Alekseeva and the decision-making tool that promotes innovation and adaptation in organizations, according to P. Lorange and E.G. MacKay. Effective strategic planning allows the organization’s resources to be aligned with long-term changes in the market environment and the surrounding environment, thereby meeting the expectations of stakeholders [3; 4].

Documentation of the strategic planning process is critical; it defines the organization's goals, strategies for achieving them, and optimal implementation timeframes. The resulting strategic documents detail the organization's intended path,

including competitive analysis and policy development [5]. The principles of strategic planning formulated by A. Fayol are the foundation of this process. These principles promote a systematic and adaptive approach to strategic planning, ensuring not only the immediate satisfaction of organizational needs, but also maintaining sustainability and relevance in the context of evolving market and environmental conditions [6]. A. Fayol emphasized the universality of these principles, applicable both to corporate governance and to national economic management. Later improvements by R. Akov introduced the principle of participation, which involves the inclusion of all members of the organization and, if necessary, external experts in the planning process [7]. This comprehensive participation is critical for the comprehensive development and implementation of strategic plans. The scientific significance of the issue lies in the implementation of a universal model of strategic planning and development of data centers, taking into account modularity, having scalability and suitable for all types and sizes, leads to the optimization of their key operational characteristics. This optimization affects all significant hierarchical levels of characteristics, including intersystem and global economic parameters. As a result, the achieved optimization effect will allow achieving a significant change in the critical performance indicators of the data center.

The main task solved in this article is to create a universal model capable of effectively managing various types of data centers and to implement a simulation model for an experiment on integrating neural network systems into data center management.

Table 2. Data center management strategies

Strategy	Description
Data center consolidation	Consists of combining several data centers into one single, more efficient and powerful data center. As a result, maintenance costs are reduced and the efficiency of the entire system is increased
Load distribution	Includes distribution of data processing tasks between different servers, which improves performance and meets high customer requirements. This approach ensures increased system reliability
Optimization of data center operations	The strategy is based on the use of advanced technologies and tools to enhance the performance of data centers. This leads to faster data processing and reduced operational costs
Fake Failure Strategy	Consists of testing hardware failure scenarios to verify the system's ability to function in emergency situations. This improves the data center's resilience to emergency situations
Data Center Responsibility Transfer Strategy	Involves delegating data center management to an external partner, which helps reduce infrastructure support costs and increase service availability for customers
Data Center Expansion Strategy	Includes gradual expansion of infrastructure to expand data processing and customer base, which contributes to increased profitability and availability of services

Strategic data center management

In the process of solving this problem, questions arose related to the peculiarities of the research methodology in such areas as strategic planning and the implementation of artificial intelligence in the field of management.

Nowadays, when data is becoming increasingly valuable, its processing is of key importance for many organizations and government agencies. Data centers, which are an important part of information systems, provide reliable storage and powerful computing resources for data processing. However, data center management is a complex task that requires special strategies for efficiency and security.

There are different types of management models, each of which is developed taking into account unique operational and strategic requirements, emphasizing the importance of both technological and economic aspects of modern developments [8]. The most important data center management models are listed in Table 1 [7; 8].

There are many data center management strategies that can be used in different situations. The choice of a particular data center management strategy depends on many factors, including business needs, financial constraints, technical capabilities, and many others. Table 2 lists the main management strategies.

It is very important to consider the economic component when developing a data center man-

agement strategy. The costs of construction, equipment acquisition and maintenance of a data center can significantly affect the profitability of a business. Cost assessment and optimization is an integral part of the data center management strategy in the economic aspect.

The development and success of a data center management strategy directly depend on economic factors. Table 3 lists their possible relationships [5–8].

The economic situation directly affects the strategic management of the data center and a successful strategy must take these factors into account to ensure effective operation in the future. Each data center requires an individual management approach based on its unique characteristics and type of operations. Further research in this area will help optimize strategic decisions and improve the profitability of data centers.

The implementation of artificial intelligence and green technologies seems to be a key way to achieve the main goals discussed in the article. The conducted analysis of the available literature on this topic [9; 10] allows us to conclude that the use of ANN is promising and promises effective results in the energy sector.

To solve the tasks, it is necessary to model the control data flow, which is a critical element in the functioning of a real data center. The parametric data flow in modern data centers plays a key role in ensuring the stability, security and ef-

Table 3. Relationship between economic factors and management strategies

Strategy	Factor
Budgeting	Financial planning is necessary to optimize the costs of developing and supporting data centers
Cost Reduction Strategies	In the context of the economic crisis, data center management requires a review of costs and possible trade-offs
Capacity planning	Anticipate future data center capacity requirements based on company growth and needs
Maintenance costs	Taking into account the increasing costs of maintaining infrastructure, software, and preparing for emergency situations
Scaling	Adapting data center management to business growth and scaling, requiring investment in equipment upgrades

iciency of their operation. This flow is a continuous collection and processing of information related to operational parameters, such as equipment temperature, energy consumption, processor load, network connection status, and other critical metrics.

Research on the implementation of artificial intelligence in the data center infrastructure is focused on the integration of parametric data flow monitoring and management systems with automated algorithms. These algorithms are able to predict potential failures, detect deviations from established norms, and optimize resource allocation. This approach ensures more efficient resource management and increases the reliability of the data center. Within the framework of this research, two fundamental questions arise that require solutions. The first fundamental question concerns the development of a methodology for collecting parametric data describing the operation of the data center infrastructure. The uniqueness of this question is due to the composition of parametric data streams that play a central role in the management of modern data centers. Managing parametric streams in modern data centers involves analyzing many types of complex data, covering parameters such as energy consumption, equipment temperature, computing system load, data transfer rate, and response time. These data have a number of mathematical and statistical properties, among which temporal structures are of key importance. Time series analysis becomes an important tool for identifying trends, anomalies, and periodic changes in data streams, which often exhibit cyclical or seasonal fluctuations.

In this context, special attention is paid not only to temporal aspects, but also to correlation

dependencies between different parameters. For example, there is a direct relationship between equipment temperature and its performance, as well as between operational processes and energy consumption. It is also important to consider such indicators as variance and standard deviation, which allow us to estimate the degree of variability of the parameters. These estimates are critical for understanding the stability of the data center and for identifying deviations from normal values. Regression analysis is a key tool for modeling and predicting the relationships between various parameters, such as the impact of increased load on energy consumption. This technique allows us to identify quantitative dependencies and estimate the impact of one or more factors on the performance of the system. Identification of outliers and anomalies in the data is of particular importance in the analysis process, since early detection of such deviations plays a critical role in preventing potential failures. This, in turn, helps to optimize the operation of the infrastructure and maintain its stability. To obtain comparable data during research, it is necessary to implement a data collection system using sensors and monitoring systems that provide information in real time. This data should then be securely stored in a system that supports structured storage for subsequent analysis. Modern approaches such as big data analytics and machine learning are proving to be extremely effective in processing such large volumes of data, identifying patterns, anomalies, and predicting future events. However, in the absence of access to real data sources, researchers may resort to alternative methodologies such as modeling. In this case, mathematical models are built that simulate the behavior of real systems using assumptions and data from sources

such as equipment manufacturers' documentation or published research in the field. These models can simulate the operation of systems under various loads and assess the impact of external factors, including changes in temperature or fluctuations in power consumption. The second fundamental issue that needs to be resolved in order to conduct research on this topic is that the implementation of a neural network should be implemented within the framework of a model of strategic development and data center management.

In this regard, there is a need to develop a model of strategic development of a data center. It is quite obvious that the requirements for this model are that the model should be universal for all types of data centers, which means its mandatory general applicability, modularity and scalability.

When creating an architecture for energy-efficient data center management using neural networks, there is a need to take into account scalability, which is a key parameter for all subsystems of the center. The architecture designed to generate training data sets based on parametric data of the data center operation should contain methods and elements that allow for possible changes in the scale of operation of various subsystems. These changes arise as a result of strategic planning and development, which is achieved through a strategic management model. The problem is the need to develop such a management system architecture that would take into account the overall modularity and scalability of all subsystems, ensuring high adaptability and management efficiency in the context of dynamically changing requirements and strategic goals for the development of data centers. As a solution to this problem, it is proposed to develop a data center management system that integrates a scalable parametric data template used to train the neural network and its automated interaction with the management system.

The results of the study of this fundamental issue allow us to draw the following conclusions: the issue of energy efficiency optimization is a universal issue for all types of data centers and the problem of scalability in the context of strategic planning and management can be solved by introducing global economic metrics, such as PUE (Power Usage Effectiveness) or CVAR (Conditional Value at Risk), into the physical and mathematical model of the data center, as proposed in studies of data center energy efficiency templates [11]. These metrics, according to the study, are widely used to make economically sound decisions, which confirms their

universality and the possibility of scalable use in infrastructure management. Thus, the integration of these metrics into the physical and mathematical model of the data center allows us to solve the problem associated with the need to include elements of strategic management in simulation models. Based on the above, the study recommends developing a simulation model of the data center based on a physical and mathematical model, into which global economic metrics are integrated. These metrics are intended to assess the efficiency of the data center infrastructure and allow for more accurate modeling and analysis of key performance and resource consumption parameters. This approach will provide a comprehensive assessment of the data center's operation, taking into account not only the technical but also the economic aspects of its activities.

Interactive data center network scheduling system

The evolution of strategic planning adapted to the dynamic changes in modern energy distribution and data management highlights the importance of integrating strategic management principles to improve system efficiency and sustainability. The interactive integrated planning (IIPS) model is an example of this, optimizing the interaction between data centers and distribution networks with a focus on achieving carbon neutrality. The choice of the data center energy-efficient resource scheduling (DCEERS) model developed by Hongkun Chen and colleagues [12] reflects its adaptability and effectiveness in managing energy consumption and optimizing resource allocation in scalable data center environments. The ability of DCEERS to maintain optimal resource allocation in large and complex environments highlights its usefulness for interactive planning within the IIPS model. This makes it suitable for solving the problems of energy-efficient and strategic management of distribution networks and data centers aimed at achieving carbon neutrality. The integration of DCEERS into the IIP framework not only addresses current management challenges, but also contributes to the achievement of broader sustainability goals by providing reliability and flexibility in the planning process in the face of future challenges. The synergy between data centers and distribution networks created by the IIP model contributes to the creation of sustainable and efficient energy systems capable of meeting the needs of rapid technological prog-

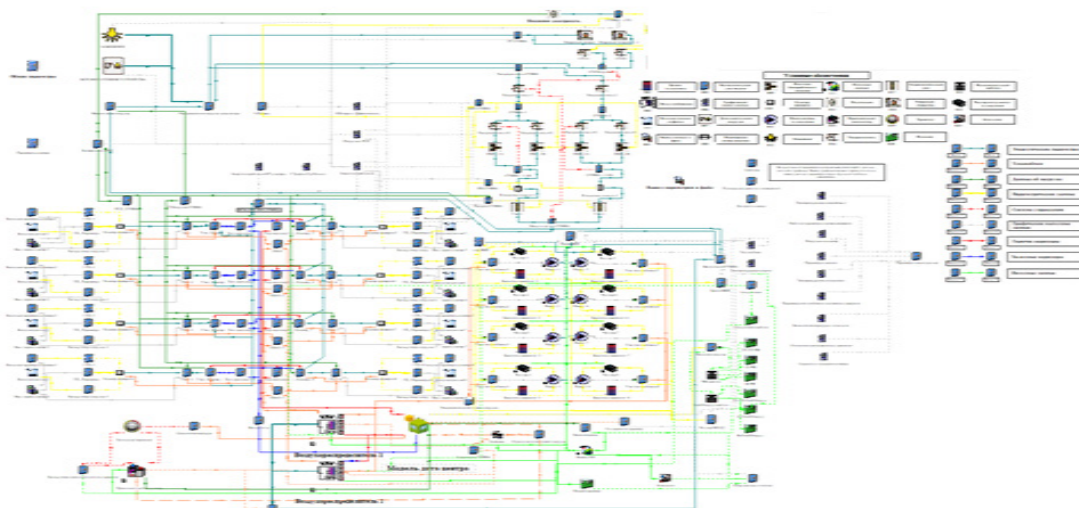


Fig. 1. Simulation model diagram

ress. Thus, the architecture of the data center system integrated with the distribution grid includes three main components: distribution grid lines, data center network and renewable energy sources. The data center mainly consumes electricity through IT equipment such as servers and auxiliary equipment including cooling and lighting systems. In addition, the configuration of virtual machine software is necessary to facilitate the online migration of data processing tasks between different data centers. In the IPS model, the distribution system operator plays a key role in the investment planning and operational management of the data center and the distribution grid. Based on the region's electricity and data needs, the DSO jointly optimizes the configuration and management of system resources, networks, and loads. By fully exploiting the demand response potential of the data center and the operational flexibility, the IPS model aims to maximize the overall benefits of integrating the data center into the distribution grid. The impact of IPS on the carbon neutrality of the power system is manifested through increased data center energy efficiency, optimized data processing, reduced grid losses, and improved coordination with renewable energy generation to support carbon neutrality. Based on the analysis performed, Figure 2 presents the fundamental framework for IPS between data centers and the distribution grid. This framework distinguishes between traditional stand-alone scheduling elements and additional components. These additional components are essential for IPS. This model introduces the conditional value at risk

(CVaR) indicator [12] to quantify potential losses from uncertainties in order to minimize the sum of systemic risks, investment and operating costs when taking into account carbon emissions. Compared with traditional risk measurement methods, CVaR has such advantages as subadditivity, consistency and sufficient prediction of final risks, which makes it more applicable to engineering problems. The scheme of the simulation model is shown in Fig. 1.

Conclusion

The objective of the IPC is to reduce the overall capital and operating costs of the system. The effectiveness of the final solution depends on taking into account the risk factors associated with the uncertainty and variability of user data in the modeling process.

The IPC problem for distribution networks and data centers is formulated as a two-stage stochastic optimization model based on CVaR [12]. In the first stage, plans are developed and decisions are made to reduce the investment costs of the system, optimize the expansion of transmission lines, determine the location of the data center and the allocation of physical and software resources (including servers, virtual machines, and cooling equipment), and locate and determine the capacity of renewable energy sources. The above planning scheme serves as a set of known parameters for the second stage, which is an operational modeling aimed at minimizing the sum of annual operating costs and ob-

taining carbon neutrality benefits. In this step, the operating strategies of the data centers (including the migration of the information load, the operating modes of the servers, and the operation of the cooling equipment) and the distribution network (including the generation of renewable energy sources

and the purchase of electricity) are optimized for each time period. The results of the second step are used to adjust the objective function of the first step in the form of “expected operating costs” and “benefits from carbon neutrality” in order to clarify and adjust the planning scheme.

Список литературы

1. Balodis, R. History of Data Centre Development / R. Balodis, I. Opmane // *Reflections on the History of Computing*, 2012. – P. 180–203.
2. Kong, F. A survey on green-energy-aware power management for datacenters / F. Kong, L. Xue // *ACM Comput. Surv.* – 2014. – Vol. 47. – No. 2. – Article 30. – 38 p.
3. Johnson, G. Exploring corporate strategy / G. Johnson. – Pearson Education Limited, 2008. – 620 p.
4. Алексеева, М.М. Программирование бизнес-процессов: учебно-методическое руководство / М.М. Алексеева. – М. : Финансовые и статистические издания, 2013. – 248 с.
5. Rumelt, R. Good Strategy, Bad Strategy / R. Rumelt. – New York : Crown Business, 2011. – 342 p.
6. Куприянов, С.В. Менеджмент: учебное пособие для студентов / С.В. Куприянов, А.А. Шаповалов, Ю.Н. Божков. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2013. – 447 с.
7. Аков, Р. Управление в крупных экономических системах / Р. Аков ; пер. с англ. Г.Б. Рубальского. – М. : Советское Радио, 1972. – 223 с.
8. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: учебное пособие для вузов / В.В. Круглов. – М. : Физматлит, 2001. – 496 с.
9. Ahmadi, A. Implementing Artificial Intelligence in IT Management: Opportunities and Challenges / A. Ahmadi // *Asian Journal of Computer Science and Technology*. – 2023. – Vol. 12. – P. 18–23.
10. Yang, J. AI-Powered Green Cloud and Data Center / J. Yang, W. Xiao, C. Jiang, M.S. Hossain, G. Muhammad, S.U. Amin // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – P. 4195–4203.
11. Shuja, J. Data center energy efficient resource scheduling / J. Shuja, K. Bilal, S.A. Madani, S.U. Khan // *Cluster Computing*. – 2014. – Vol. 17. – No. 4. – P. 1265–1277.
12. Chen, H. Joint expansion planning for data centers and distribution networks based on conditional value-at-risk theory considering low carbon characteristics / H. Chen, P. Gao, K. Liu, L. Chen, W. Huang // *Electr. Power Syst.* – 2024. – 229 p.

References

4. Alekseyeva, M.M. Programirovaniye biznes-protsessov: uchebno-metodicheskoye rukovodstvo / M.M. Alekseyeva. – M. : Finansovyye i statisticheskiye izdaniya, 2013. – 248 s.
5. Rumelt, R. Good Strategy, Bad Strategy / R. Rumelt. – New York : Crown Business, 2011. – 342 p.
6. Kupriyanov, S.V. Menedzhment: uchebnoye posobiye dlya studentov / S.V. Kupriyanov, A.A. Shapovalov, YU.N. Bozhkov. – Belgorod : Izd-vo BGTU, 2013. – 447 s.
7. Akov, R. Upravleniye v krupnykh ekonomicheskikh sistemakh / R. Akov ; per. s angl. G.B. Rubal'skogo. – M. : Sovetskoye Radio, 1972. – 223 s.
8. Kruglov, V.V. Nechetkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti: uchebnoye posobiye dlya vuzov / V.V. Kruglov. – M. : Fizmatlit, 2001. – 496 s.

УДК 330.46

Р.В. СУСОВ

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

СИСТЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ

Ключевые слова: системный подход к управлению; цифровая модель предприятия.

Аннотация. Цель статьи состоит в рассмотрении вопросов адаптации предприятия к изменениям на основе цифровой модели. В статье предложен подход к отображению различных аспектов деятельности предприятия в комплексную цифровую модель. С позиции системного подхода рассмотрены механизмы перехода предприятия как системы из одного состояния в другое на основе цифровых моделей.

Нестабильная рыночная ситуация вынуждает предприятия постоянно приспосабливаться к изменениям, происходящим как во внутренней, так и во внешней среде. В таких условиях могут выжить только предприятия, которые в процессе изменений способны совершенствовать собственную организацию и деятельность [1–3]. Развитие предприятия в подавляющем большинстве случаев носит эволюционный характер. Изменения среды, в которой функционирует предприятие, происходят непрерывно. Управлять динамично изменяющимся бизнесом становится все труднее. Поэтому выработка адекватного механизма адаптации к постоянным изменениям является одной из наиболее приоритетных задач менеджмента.

Зачастую руководители упускают множество важных аспектов деятельности предприятия, накопленная информация используется неэффективно, ограничения в доступе к информации недостаточно регламентированы, бизнес-процессы непрозрачны, сотрудники слабо представляют свои должностные обя-

занности, а руководители не могут объективно оценить ключевые показатели и результаты деятельности. Все эти факторы являются предпосылками к описанию, упорядочиванию, регламентации и совершенствованию деятельности предприятия посредством создания цифровой модели.

Цифровая модель предприятия, как правило, имеет многокомпонентную иерархическую структуру и может состоять из множества взаимосвязанных моделей различных типов, отражающих различные аспекты деятельности предприятия. Такими моделями могут быть: организационная структура, *web*-сайт, локальная сеть, программное и аппаратное обеспечение, стратегия компании, знания сотрудников, бизнес-процессы, информационные ресурсы и множество других. Фрагмент структуры цифровой модели предприятия изображен на рис. 1.

Состав моделей зависит от потребностей предприятия и определяется целями моделирования. Каждая модель содержит набор объектов и определяет связи между ними. Один и тот же объект может встречаться одновременно в нескольких моделях и включать в себя вложенную модель. Такой подход помогает разобраться в сложной предметной области со слабо структурированными знаниями о ней, предоставляя возможность декомпозиции сложной системы на простые подсистемы, и работать с информацией на разных уровнях абстрагирования. Термин «моделирование» здесь применяется в двух смыслах. Во-первых, под моделированием понимают процесс построения модели компании. Во-вторых, под моделированием понимают процесс исследования модели функционирования предприятия – имитационное моделирование.



Рис. 1. Фрагмент структуры цифровой модели предприятия

Согласно работе [4] построение цифровой модели предприятия заключается в отображении различных аспектов деятельности предприятия в комплексную цифровую модель:

$$f:(M^0) \rightarrow M,$$

где M^0 – совокупность рассматриваемых аспектов деятельности предприятия, а M – комплексная цифровая модель этого предприятия. Скобки означают, что f – частично определенное отображение, при котором модель в некоторой степени упрощена и отражает только значимые для оцифровки характеристики оригинала.

M^0 и M можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} M^0 &= (M^0_1, M^0_2, \dots, M^0_n), \\ M &= (M_1, M_2, \dots, M_n), \end{aligned} \quad (2)$$

где $M^0_1, M^0_2, \dots, M^0_n$ – рассматриваемые аспекты деятельности моделируемого предприятия, $M_1, M_2, \dots, M_n$ – цифровые модели соответствующих аспектов деятельности моделируемого предприятия, n – количество рассматриваемых аспектов и моделей.

Цифровая модель предоставляет возможность исследовать предприятие как совокупность взаимосвязанных элементов с определенным набором параметров, отслеживать сложные неочевидные зависимости между

отдельными параметрами и выявлять закономерности их взаимного влияния. Подобный системный подход [5] позволяет учесть каждый аспект деятельности предприятия и сформировать стратегию адаптации к изменениям.

С позиции системного подхода [6] переход предприятия как системы из одного состояния (начального или промежуточного) в другое (промежуточное или конечное) можно записать следующим образом:

$$O_0 \rightarrow O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow \dots \rightarrow O_k,$$

где O_0 – первичное состояние предприятия до начала деятельности, O_1, O_2 и т.д. – промежуточные состояния предприятия в процессе деятельности, O_k – конечное состояние предприятия после завершения деятельности.

Каждому состоянию предприятия соответствует цифровая модель $M(O_k)$. Перед тем, как предприятие перейдет в состояние O_k , строится цифровая модель $M(O_k)$ и на ней апробируются изменения:

$$M(O_0) \rightarrow M(O_1) \rightarrow M(O_2) \rightarrow \dots \rightarrow M(O_k), \quad (4)$$

где $M(O_0)$ – первичное состояние цифровой модели предприятия до начала деятельности, $M(O_1), M(O_2)$ и т.д. – промежуточные состояния цифровой модели предприятия в процессе дея-

тельности, $M(O_k)$ – конечное состояние цифровой модели предприятия после завершения деятельности.

Предприятие обладает ограниченными ресурсами, поэтому необдуманные эксперименты могут его погубить. Инструментальные средства позволяют смоделировать сразу несколько потенциально возможных вариантов развития предприятия с учетом множества параметров и зафиксировать наиболее рациональный вариант, обладающий оптимальными характеристиками, который в дальнейшем может быть внедрен в реальную деятельность предприятия. Подобный механизм позволяет «заглянуть в будущее» и оперативно скорректировать курс развития организации в ответ внешним и внутренним изменениям. Ценность данного подхода заключается в минимизации рисков, связанных с неопределенностью, возникающей при изменении отдельных элементов предприятия без учета их влияния на всю систему в целом. Таким образом, использование цифровых технологий моделирования помогает сделать процесс развития компании более предсказуемым, а значит, более управляемым.

Не существует двух полностью одинаковых предприятий: каждое предприятие уникально.

Этот факт не позволяет использовать единожды построенную цифровую модель сразу несколькими предприятиями. Для каждого предприятия необходимо создавать новую модель, которая в полной мере будет отражать специфику структуры и деятельности этого предприятия. Несмотря на высокую сложность и значительные финансовые затраты, актуальность построения и исследования цифровой модели для предприятия трудно переоценить. Грамотно построенная модель не только окупается, но также может принести прибыль в долгосрочном периоде.

Как правило, логическим продолжением построения цифровой модели предприятия является реинжиниринг бизнес-процессов и разработка автоматизированной информационной системы. После того, как на основе модели создана информационная система, накапливается статистика по работе этой системы, анализируются результаты. С учетом проанализированных результатов вносятся коррективы в цифровую модель, по результатам моделирования изменяется сама система. Таким образом, процесс совершенствования деятельности предприятия течет непрерывно, сохраняя ценность прошлых инвестиций.

Список литературы

1. Голдратт, Э.М. Цель. Процесс непрерывного совершенствования / Э.М. Голдратт, Д. Кокс ; пер. с англ. – Минск : Попурри, 2009. – 496 с.
2. Голдратт, Э.М. Цель. Процесс непрерывного улучшения. Цель-2. Дело не в везенье / Э.М. Голдратт, Д. Кокс ; пер. с англ. – Москва : Максимум, 2008. – 778 с.
3. Голдратт, Э.М. Цель-3 / Э.М. Голдратт, Э. Шрагенхайм, К.А. Птак ; пер. с англ. – Киев : Необходимо, но не достаточно, 2009. – 250 с.
4. Susov, R.V. Transformation of High-Tech Manufacturing Business Processes Based on Digital Models / R.V. Susov, A.N. Samoldin // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2549. – P. 080036.
5. Нив, Г. Организация как система: Принципы построения устойчивого бизнеса Эдвардса Деминга / Г. Нив ; пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2007. – 370 с.
6. Мильнер, Б. Системный подход к организации управления / Б. Мильнер, Л. Евенко, В. Рапопорт. – М. : Экономика, 1983. – 360 с.

References

1. Goldratt, E.M. Tsel'. Protsess nepreryvnogo sovershenstvovaniya / E.M. Goldratt, D. Koks ; per. s angl. – Minsk : Popurri, 2009. – 496 s.
2. Goldratt, E.M. Tsel'. Protsess nepreryvnogo uluchsheniya. Tsel'-2. Delo ne v vezen'ye / E.M. Goldratt, D. Koks ; per. s angl. – Moskva : Maksimum, 2008. – 778 s.
3. Goldratt, E.M. Tsel'-3 / E.M. Goldratt, E. Shragenkhaym, K.A. Ptak ; per. s angl. – Kiyev : Neobkhodimo, no ne dostatochno, 2009. – 250 s.

5. Niv, G. Organizatsiya kak sistema: Printsipy postroyeniya ustoychivogo biznesa Edvardsa Deminga / G. Niv ; per. s angl. – M. : Al'pina Biznes Buks, 2007. – 370 s.
 6. Mil'ner, B. Sistemnyy podkhod k organizatsii upravleniya / B. Mil'ner, L. Yevenko, V. Rapoport. – M. : Ekonomika, 1983. – 360 s.
-

© P.B. Cycob, 2025

УДК 332.1

У.В. САТ, В.К. СЕВЕК

ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

Ключевые слова: государственная поддержка; малое и среднее предпринимательство; особенности; Республика Тыва; факторы развития.

Аннотация. Малое предпринимательство в Республике Тыва играет важную роль в социально-экономическом развитии региона, являясь источником занятости, доходов населения и инноваций. Цель статьи – по результатам исследования определить региональные особенности развития малого и среднего предпринимательства и влияющие на них факторы. Гипотеза исследования: определение региональных диспропорций развития малого и среднего предпринимательства. Методы исследования: для выявления особенностей республиканского малого и среднего предпринимательства проведен комплексный анализ их деятельности с использованием экономико-статистических методов. Задача исследования – выявление региональных особенностей развития малого бизнеса. Результаты исследования: на основе комплексного анализа выявлены специфические региональные факторы и причины территориально-неравномерного развития малого бизнеса, сформированы предложения по их учету при разработке плана развития малого и среднего предпринимательства.

В Республике Тыва, как и во многих других регионах Российской Федерации, развитие малого и среднего предпринимательства является важным фактором экономического роста и социальной стабильности [1]. Анализ динамики изменения количества субъектов малого и среднего предпринимательства позволяет оценить эффективность мер государственной поддержки, выявить проблемные зоны и скорректировать стратегию развития предпринимательства (табл. 1).

Анализ динамики изменения количества субъектов малого и среднего предпринимательства в Республике Тыва за период с 2022 по 2024 гг. показывает, что развитие малого и среднего предпринимательства в регионе носит неравномерный характер. Микропредприятия и самозанятые наиболее чувствительны к изменениям экономической конъюнктуры, а малые и средние предприятия демонстрируют более устойчивый рост.

Так, за период с 2022 по 2024 гг. в Республике Тыва наблюдалась неоднозначная динамика изменения количества микропредприятий. В 2022 г. фиксировался умеренный рост числа микропредприятий, обусловленный, в частности, реализацией программ поддержки начинающих предпринимателей и упрощенной системой налогообложения [2]. Однако в 2023 г. был отмечен спад, связанный с усилением конкуренции, ростом издержек производства и ограниченным доступом к финансированию. В 2024 г. ситуация стабилизировалась и наметилась тенденция к восстановлению благодаря адаптации микропредприятий к новым экономическим условиям и расширению рынков сбыта.

Динамика изменения количества малых предприятий в Республике Тыва в рассматриваемый период характеризуется более стабильным ростом по сравнению с микропредприятиями. В 2022 и 2023 гг. наблюдался умеренный прирост, обусловленный реализацией инвестиционных проектов и освоением новых видов деятельности. В 2024 г. темпы роста несколько замедлились, что связано с насыщением отдельных рынков и усилением административного давления.

Количество средних предприятий в Республике Тыва остается относительно небольшим и характеризуется низкой волатильностью. В 2022–2024 гг. наблюдались незначительные

Таблица 1. Количество субъектов малого и среднего предпринимательства и самозанятых граждан в Сибирском федеральном округе (по состоянию на 31.12.2024 г.) (составлено авторами на основе данных Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства ФНС России)

Наименование субъекта РФ	Количество самозанятых граждан, чел.			Число субъектов МСП, чел.		
	Всего	Самозанятые	ИП	Всего	Юр. лиц	ИП
Российская Федерация	12 743 241	12 111 159	632 082	6 588 535	2 260 035	4 328 066
Сибирский федеральный округ (СФО)	1 303 589	1 243 735	59 854	651 803	229 514	422 230
Республика Алтай	18 103	17 088	1 015	9 138	2 453	6 682
Республика Тыва	22 745	21 725	1 020	10 179	1 470	8 709
Республика Хакасия	32 809	31 098	1 711	18 021	4 549	13 464
Алтайский край	148 799	141 957	6 842	79 055	26 870	52 184
Красноярский край	235 685	224 306	11 379	113 108	40 444	72 657
Иркутская область	174 822	167 122	7 700	90 922	30 259	60 643
Кемеровская область	149 180	142 620	6 560	72 053	22 767	49 280
Новосибирская область	287 706	273 909	13 797	152 164	62 616	89 543
Омская область	150 897	145 113	5 784	65 898	22 114	43 780
Томская область	82 843	78 797	4 046	41 265	15 972	25 289

колебания численности, связанные с реализацией отдельных инвестиционных проектов и реорганизацией существующих предприятий. Развитие среднего бизнеса в регионе сдерживается ограниченностью финансовых ресурсов, кадровым дефицитом и неразвитостью инфраструктуры.

В последние годы в Республике Тыва наблюдается значительный рост числа самозанятых граждан. В 2022 г. этот рост был обусловлен введением специального налогового режима для самозанятых и упрощением процедуры регистрации. В 2023 и 2024 гг. тенденция сохранилась, что свидетельствует о повышении интереса населения к самостоятельной занятости и развитию малого бизнеса. Самозанятые играют важную роль в обеспечении занятости населения и развитии сферы услуг.

Анализ развития малого бизнеса в республике сталкивается с рядом специфических факторов, обусловленных ее отдаленностью, сложными климатическими условиями и особенностями местной экономики [3–5].

Природно-климатические условия республики резко континентальные, что обусловлено большими колебаниями температуры, это создает препятствия логистики по одной федераль-

ной автомобильной дороге, соединяющей регион с другими субъектами страны. Удаленность от ближайшей железной дороги составляет 500 км через горный хребет Саяны. Резко континентальный климат и неразвитость транспортной инфраструктуры влияют на перспективные виды экономической деятельности, где требуются современные технологии, например, переработка продукции сельского хозяйства, развитие туризма.

Доминирующей отраслью в экономике республики является добыча полезных ископаемых (каменного угля, цветных, благородных и редкоземельных металлов), где малые предприятия не принимают участия из-за конкуренции с крупными компаниями. Основные виды экономической деятельности малых предприятий связаны с торговлей, сельским хозяйством с преобладанием животноводства над выращиванием сельскохозяйственных культур с малой долей переработки мяса и молока. Из 22 % сельскохозяйственных угодий пашни составляют 5 %. При ведущей роли животноводства отсутствуют предприятия по переработке шерсти, шкур и кожевенного сырья. Низкая плотность населения, удаленность от крупных экономических центров ограничивают внутренний ры-

нок, что ставит работу малого бизнеса в высокую зависимость от субсидий государства.

Социокультурные факторы, сдерживающие развитие малого предпринимательства, связаны с экономико-географическими, социально-демографическими аспектами. Недостаток квалифицированных кадров, отсутствие первоначального собственного капитала и недостаточная информированность населения о принимаемых мерах органами власти для ведения малого бизнеса современными технологиями сдерживают предпринимательские инициативы, особенно в сельской местности. В этой связи население сельской местности в основном занимается традиционным видом разведения домашнего скота и народным промыслом. Отсутствие рынков сбыта продукции животного происхождения делает доходность крестьянских и личных подсобных хозяйств низкой.

В соответствии с государственной программой «Развитие малого и среднего предпринимательства Республики Тыва», утвержденной 12.10.2023 г., предусмотрены меры поддержки: обучающие курсы, семинары, организация бизнес-миссий, содействие участию малого и среднего предпринимательства в выставочно-ярмарочных мероприятиях, увеличение грунтового капитала и др. [6]. Вместе с тем, как было выше отмечено, информированность принимаемых мер поддержки малого бизнеса низкая. Активно реализуются Губернаторские проекты, направленные на поддержку населения, проживающего в сельской местности. Недостаточное развитие транспортной, энергетической и теле-

коммуникационной инфраструктур снижает эффективность принимаемых мер и конкурентоспособность малого предпринимательства республики.

Министерство экономического развития и промышленности Республики Тыва в 2025 г. планирует уделить внимание следующим направлениям [7]:

- развитию инновационных проектов и цифровизации малого и среднего предпринимательства;
- стимулированию спроса на продукцию малого и среднего бизнеса путем расширения их доступа к государственным закупкам;
- содействию развитию кооперации и формированию новых рыночных направлений;
- созданию условий технологического развития предприятий;
- совершенствованию политики в области налогообложения и неналоговых платежей;
- льготному кредитованию для ведения предпринимательской деятельности в сельских территориях, а также в тех видах бизнеса, которые менее развиты;
- актуализации строительства железной дороги Кызыл – Курагино для расширения транспортных возможностей республики.

Система государственной поддержки малого бизнеса и самозанятых, развитие рыночной инфраструктуры, улучшение инвестиционного климата и стимулирование инновационной активности будут способствовать дальнейшему развитию малого и среднего предпринимательства в Республике Тыва.

Список литературы

1. Севек, В.К. Управление человеческим капиталом в условиях модернизации экономики: монография / В.К. Севек, А.Э. Чульдун. – Кызыл : Издательство ТувГУ, 2023. – 80 с.
2. Постановление Правительства Республики Тыва от 12.10.2023 г. № 748 Об утверждении государственной программы Республики Тыва «Развитие малого и среднего предпринимательства в Республике Тыва» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=166149085&backlink=1&&nd=166152442&ysclid=ma4ugxdo6904455598>.
3. Донгак, Б.А. Оценка влияния мер государственной поддержки на развитие малого и среднего предпринимательства Республики Тыва / Б.А. Донгак, О.Н. Монгуш, А.О. Оюн, С.А. Ондар // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 11(161). – С. 136–138.
4. Соян, Ш.Ч. Развитие малого предпринимательства в Туве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-malogo-predprinimatelstva-v-tuve/viewer>.
5. Севек, В.К. Тренд рынка труда и занятости в России и Республике Тыва / В.К. Севек, А.А. Серээжикпей, Ш.В. Куулар // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2024. – Т. 249. – № 5. – С. 399–420.
6. Постановление Правительства Республики Тыва от 21.03.2024 г. № 748 Об итогах деятель-

ности Министерства экономического развития и промышленности Республики Тыва за 2023 год и приоритетность направлений деятельности на 2024 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.npa.rtyva.ru/page/7137.html>.

7. Подведены итоги деятельности Министерства экономического развития и промышленности РТ в сфере малого и среднего предпринимательства за 2024 год // Инвестиционный портал Республики Тыва [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ituva.ru/news/327.html>.

References

1. Sevek, V.K. Upravleniye chelovecheskim kapitalom v usloviyakh modernizatsii ekonomiki: monografiya / V.K. Sevek, A.E. Chul'dum. – Kyzyl : Izdatel'stvo TuvGU, 2023. – 80 s.
2. Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Tyva ot 12.10.2023 g. № 748 Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Respubliki Tyva «Razvitiye malogo i srednego predprinimatel'stva v Respublike Tyva» [Electronic resource]. – Access mode : <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=166149085&backlink=1&&nd=166152442&ysclid=ma4ugxdo6904455598>.
3. Dongak, B.A. Otsenka vliyaniya mer gosudarstvennoy podderzhki na razvitiye malogo i srednego predprinimatel'stva Respubliki Tyva / B.A. Dongak, O.N. Mongush, A.O. Oyun, S.A. Ondar // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 11(161). – S. 136–138.
4. Soyan, SH.CH. Razvitiye malogo predprinimatel'stva v Tuve [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-malogo-predprinimatelstva-v-tuve/viewer>.
5. Sevek, V.K. Trend rynka truda i zanyatosti v Rossii i Respublike Tyva / V.K. Sevek, A.A. Sereezhikpey, SH.V. Kuular // Nauchnyye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii. – 2024. – T. 249. – № 5. – S. 399–420.
6. Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Tyva ot 21.03.2024 g. № 748 Ob itogakh deyatelnosti Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya i promyshlennosti Respubliki Tyva za 2023 god i prioritetnost' napravleniyakh deyatelnosti na 2024 g. [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.npa.rtyva.ru/page/7137.html>.
7. Podvedeny itogi deyatelnosti Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya i promyshlennosti RT v sfere malogo i srednego predprinimatel'stva za 2024 god // Investitsionnyy portal Respubliki Tyva [Electronic resource]. – Access mode : <https://ituva.ru/news/327.html>.

© У.В. Сат, В.К. Севек, 2025

УДК 368.3:005.6

И.П. УЙМАНОВА, П.А. ЛОТАРЕВ, Е.Д. ЛУНЕВА

Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ РАСХОДОВ НЕГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕНСИОННОГО СТРАХОВАНИЯ

Ключевые слова: автоматизация расчетов; негосударственное пенсионное страхование (НПС); программный модуль; финансовые показатели.

Аннотация. В статье рассматриваются преимущества разработки программного модуля на платформе 1С:Предприятие по сравнению с использованием SAP в сфере негосударственного пенсионного страхования. Отмечаются высокая адаптивность, гибкость, доступность и простота внедрения решений на базе 1С. Целью исследования является создание автоматизированного модуля для расчета расходов, соответствующего требованиям эффективности, точности и адаптивности. В работе применен оптимизированный подход к оценке финансовых показателей, а тестирование проведено на основе данных крупной страховой компании. Разработанный модуль способствует повышению качества управления, ускорению автоматизации и улучшению финансовой отчетности.

Введение

В последние годы в России наблюдается активный процесс импортозамещения в различных сферах экономики, в том числе и в области информационных технологий. Особенно эта тенденция актуальна для финансового сектора, где многие компании используют зарубежные решения для бухгалтерского учета, управления финансами и расчета пенсионных накоплений. Однако зависимость от импортного программного обеспечения создает ряд рисков, связанных с изменением международной политики и нестабильностью в экономике. Таким образом,

результаты нашего проекта могут значительно упростить процесс администрирования негосударственного пенсионного страхования, повысить его эффективность и снизить затраты компаний, что, в свою очередь, будет способствовать более активному развитию этого сегмента рынка в России [1].

Основная часть

В настоящее время многие компании используют SAP для управления своими бизнес-процессами, включая расчеты НПС. Однако разработка программного модуля для НПС на платформе SAP требует значительных затрат и зависит от внешних факторов, таких как стоимость лицензий и доступность технической поддержки [2]. Выполнение бизнес-процесса представлено в виде диаграммы IDEF0, изображенной на рис. 1.

На данный момент бухгалтер, получая от отдела кадров информацию о поступлении денежных средств на солидарный счет и от негосударственного пенсионного фонда (НПФ) информацию о поступлениях денежных средств на именной счет, соединяет ее в один Excel файл, в котором вручную производит необходимые расчеты на негосударственное пенсионное страхование. После этого готовый Excel файл бухгалтер загружает в систему SAP и осуществляет его проводку в системе вручную. Далее итоговая сумма передается в отчет по косвенным расходам, после чего формируется налог на прибыль и заносится в декларацию для налоговой службы. Схема процесса, как он есть сейчас, представлена на рис. 2.

Бухгалтер получает от отдела кадров информацию о поступлении денежных средств на солидарный счет, а также от НПФ данные



Рис. 1. Диаграмма IDEF0 бизнес-процесса «Учет расходов на негосударственное пенсионное страхование»

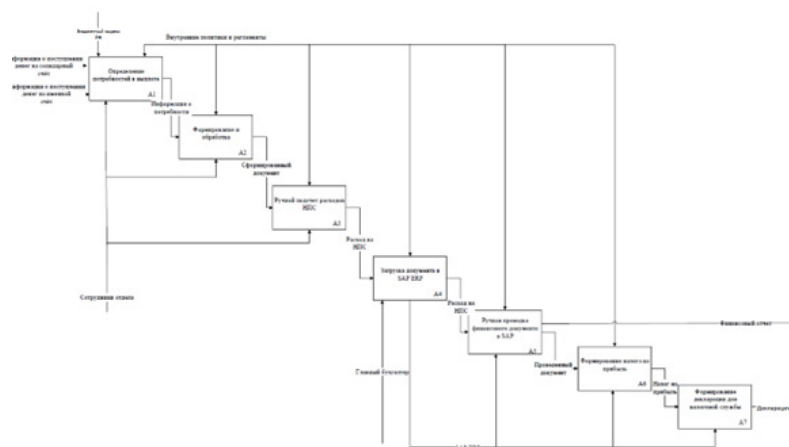


Рис. 2. Декомпозиция функционального блока «Как есть»

о поступлениях на именной счет [3]. Далее в системе 1С проводятся автоматические расчеты по негосударственному пенсионному страхованию. После этого итоговая сумма передается в отчет по косвенным расходам, формируется налог на прибыль, который затем заносится в декларацию для налоговой службы. Схема текущего процесса представлена на рис. 3.

Реализован данный модуль в 1С:Предприятии, расчет полей делается таким образом: сделана интеграция с Excel, и там создается документ по сотрудникам, в который входят определенные поля (ФИО, дата рождения, дата наступления пенсионного возраста, дата увольнения, стаж, сумма солидарного и именного счета). Далее по этим данным делается автоматический расчет более 15 полей.

На рис. 4 показано, как выглядит главное окно, в котором мы можем записать документ, а также его провести, там же есть кнопка загрузки, эта кнопка как раз подгружает документ из Excel.

Негосударственное пенсионное страхование позволяет гражданам накапливать средства, которые будут выплачиваться в виде пенсионных выплат в будущем. Основным источником формирования расходов НПС являются взносы участников [4]. Например, если в 2023 г. в НПС участвуют 5 миллионов человек, и каждый из них вносит в среднем 10 000 рублей в год, то общий объем взносов можно рассчитать по формуле:

$$\text{Общий объем взносов} = \text{Количество участников} \times \text{Средний взнос [6];}$$

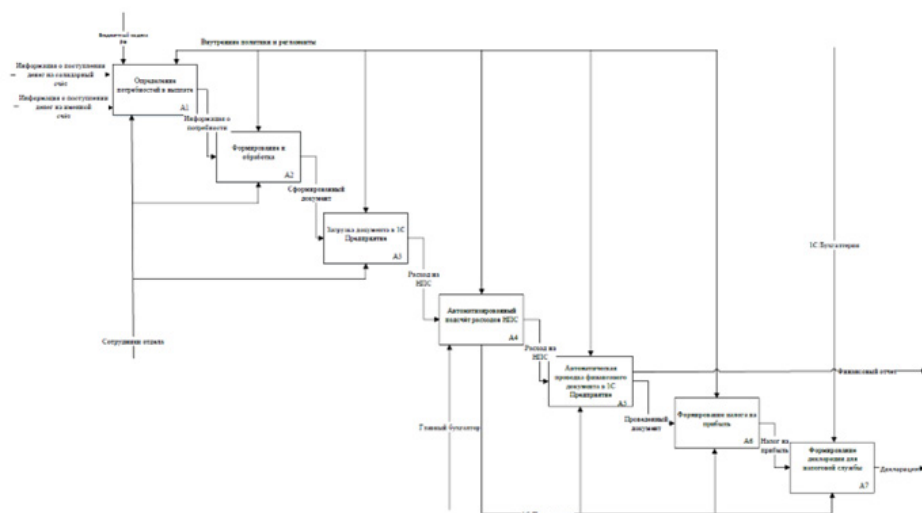


Рис. 3. Декомпозиция функционального блока «Как будет»

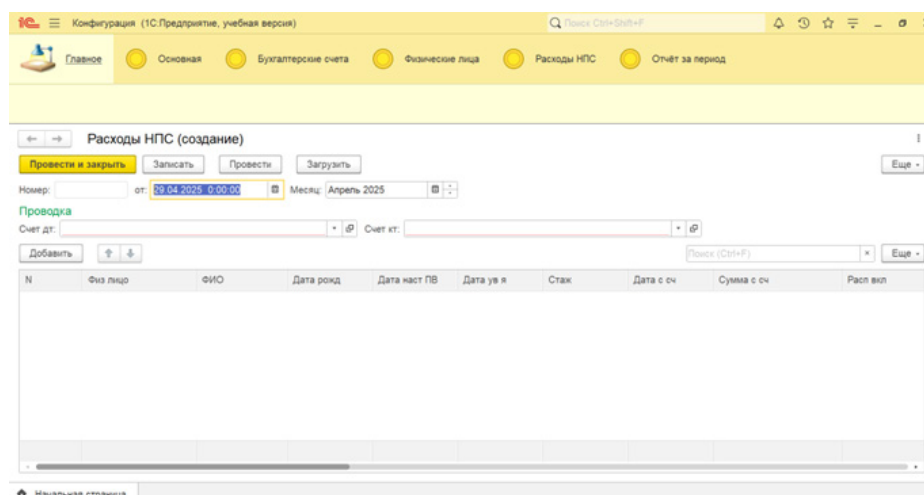


Рис. 4. Главное окно формирования расходов

Общий объем взносов = $5\,000\,000 \times 10\,000 = 50\,000\,000\,000$ рублей
(50 миллиардов рублей).

Доход от инвестиций = $50\,000\,000\,000 \times 0,06 = 3\,000\,000\,000$ рублей
(3 миллиарда рублей).

Эти средства затем инвестируются пенсионными фондами в различные финансовые инструменты, такие как акции, облигации и недвижимость, с целью получения дохода [5]. Если предположить, что пенсионный фонд получает среднюю доходность на уровне 6 % годовых, то доход от инвестиций можно рассчитать следующим образом:

Доход от инвестиций = Общий объем накоплений $\times$ Доходность [9];

Заключение

Формирование расходов негосударственного пенсионного страхования является важным аспектом, требующим комплексного подхода и учета множества факторов, таких как взносы участников, доходность инвестиций и расходы на управление. Эффективное управление пенсионными накоплениями имеет решающее значение для обеспечения финансовой безопасности граждан в старости [14]. В этом контексте

Рис. 5. Автоматический расчет полей

Период	Физ. лицо	Сумма
01.04.2025 0:00:00	Радикова Гульнара Рушатовна	2 957,40
01.04.2025 0:00:00	Захарова Нурия Садыковна	2 957,40
01.04.2025 0:00:00	Воронова Ольга Юрьевна	2 957,40
01.04.2025 0:00:00	Кривошеина Татьяна Леонидовна	3 942,90
01.04.2025 0:00:00	Попова Елена Юрьевна	2 957,40
01.04.2025 0:00:00	Боросенко Наталья Борисовна	2 986,80
01.04.2025 0:00:00	Забелина Алла Петровна	2 957,40
01.04.2025 0:00:00	Клюсова Марина Николаевна	3 982,50
01.04.2025 0:00:00	Исмаилов Фарит Шаурувич	2 463,60
01.04.2025 0:00:00	Каиров Валерий Мусатович	1 799,10
01.04.2025 0:00:00	Абдуллина Зульфийа Хасановна	2 463,60
01.04.2025 0:00:00	Акулов Анвар Ульфатович	2 518,50
01.04.2025 0:00:00	Алдаева Наталья Леонидовна	3 449,10
Итого		2 150 820,30

Рис. 6. Отчет за период

использование современных информационных систем, таких как 1С:Предприятие, предлагает значительные преимущества по сравнению с более сложными и затратными решениями, такими как SAP. Гибкость, доступность и просто-

та в использовании 1С позволяют компаниям быстрее адаптироваться к изменениям на рынке и в законодательстве, что способствует повышению уровня жизни пенсионеров и укреплению доверия к системе НПС.

Список литературы

1. Сидоров, А.И. Моделирование процессов негосударственного пенсионного страхования / А.И. Сидоров // Вестник финансовых технологий. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 44–50.
2. Петрова, Н.Е. Импортзамещение в сфере пенсионного страхования: проблемы и решения / Н.Е. Петрова, Д.С. Иванов // Экономика и управление. – 2021. – № 5. – С. 36–41.
3. Кузнецов, В.А. Применение 1С Предприятия в управлении корпоративными финансами / В.А. Кузнецов // Журнал бухгалтерии и налогообложения. – 2020. – № 9. – С. 29–34.
4. Мартынова, Л.П. Разработка программного модуля для управления расходами пенсионного фонда / Л.П. Мартынова, М.Ю. Смирнов // Научные труды Русского экономического университета. – 2023. – № 1. – С. 12–20.
5. Андреев, С.Ю. Импортзамещение в IT-секторе: опыт перехода с SAP на 1С / С.Ю. Андреев // IT и бизнес. – 2022. – Т. 21. – № 4. – С. 15–22.

References

1. Sidorov, A.I. Modelirovaniye protsessov negosudarstvennogo pensionnogo strakhovaniya / A.I. Sidorov // Vestnik finansovykh tekhnologiy. – 2022. – T. 18. – № 3. – S. 44–50.
2. Petrova, N.Ye. Importozameshcheniye v sfere pensionnogo strakhovaniya: problemy i resheniya / N.Ye. Petrova, D.S. Ivanov // Ekonomika i upravleniye. – 2021. – № 5. – S. 36–41.
3. Kuznetsov, V.A. Primeneniye 1S Predpriyatiya v upravlenii korporativnymi finansami / V.A. Kuznetsov // Zhurnal bukhgalterii i nalogovedeniya. – 2020. – № 9. – S. 29–34.
4. Martynova, L.P. Razrabotka programmnoy modulya dlya upravleniya raskhodami pensionnogo fonda / L.P. Martynova, M.YU. Smirnov // Nauchnyye trudy Russkogo ekonomicheskogo universiteta. – 2023. – № 1. – S. 12–20.
5. Andreyev, S.YU. Importozameshcheniye v IT-sektore: opyt perekhoda s SAP na 1S / S.YU. Andreyev // IT i biznes. – 2022. – T. 21. – № 4. – S. 15–22.

© И.П. Уйманова, П.А. Лотарев, Е.Д. Лунева, 2025

УДК 339.138

*Е.В. КИСЛИЦЫН, В.А. ШАХНАЗАРЯН**ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

ВНЕДРЕНИЕ ВИДЕОКОНТЕНТА В ЧАТ-БОТ КАК МАРКЕТИНГОВАЯ СТРАТЕГИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Ключевые слова: видеоконтент; ИТ-сектор экономики; маркетинговая стратегия; пользовательский опыт; цифровая экономика; чат-боты; А/В тестирование.

Аннотация. В статье исследована эффективность внедрения видеоконтента в чат-боты организаций как маркетинговой стратегии. Гипотезой исследования является тот факт, что замена текстовых инструкций на видеоконтент увеличит эффективность маркетинговой деятельности. В качестве метода исследования использовано А/В-тестирование. Результаты исследования показали, что ключевые метрики, такие как вовлеченность пользователей, доля автоматизированных запросов и удовлетворенность клиентов, значительно возросли после внедрения видеоконтента в чат-бот.

Введение

В эпоху цифровой трансформации маркетинговые стратегии активно развиваются, адаптируясь к новым технологиям и потребностям потребителей. Современные инструменты, такие как социальные сети, искусственный интеллект, короткие видеоролики и геймификация, позволяют компаниям эффективно взаимодействовать с аудиторией, повышая вовлеченность и конверсию [3].

Чат-боты стали одним из ключевых инструментов автоматизации, особенно в банковской сфере. Они способны обрабатывать запросы клиентов, распознавать изображения и голосовые сообщения, а также предлагать персонализированные решения. Однако, несмотря на их преимущества, существует проблема недоверия со стороны пользователей. Основная причина –

сложность восприятия текстовых инструкций, особенно при больших объемах информации или сложных запросах.

Целью данного исследования является внедрение видеоконтента в чат-бот мобильного приложения Альфа-Банка и оценка его эффективности как маркетинговой стратегии.

Материалы и методы

Современные пользователи все чаще отдают предпочтение визуальному контенту, который легче воспринимается и запоминается. Исследования показывают, что человек запоминает до 95 % информации, представленной в видеоформате, против 10 % при текстовом восприятии [1]. Маркетологи также отмечают, что видеоконтент эффективнее увеличивает трафик и способствует генерации лидов (*ROI*) по сравнению с текстами, изображениями и графиками. Наиболее результативными в привлечении потенциальных клиентов являются вебинары, которые позволяют подробно объяснять продукты или услуги, а также видеоролики в социальных сетях, помогающие находить новую аудиторию [2]. При этом средняя продолжительность просмотра видео в день продолжает расти, что подчеркивает его популярность среди пользователей. Однако в существующей практике большинство чат-ботов по-прежнему предоставляют ответы только в текстовом формате.

Короткий видеоконтент, такой как клипы в социальных сетях, стал мощным инструментом для привлечения внимания аудитории. Видеоактивность, будь то сенсорная или эмоциональная, обладает большей интенсивностью по сравнению с другими маркетинговыми инструментами, что позволяет эффективно вызывать эмоциональный отклик и привлекать внимание аудитории [4]. Основная цель видеоконтента –

Таблица 1. Сравнение текстовых и видео инструкций

№	Критерий	Текст	Видео
1	Восприятие информации	Человек хуже воспринимает и запоминает текстовую информацию. Но текст позволяет предоставить больший объем информации и ее полноту	Видео (картинка + голос) воспринимается легче и быстрее
2	Объем информации	Требуется большой объем текста для объяснения процессов	Информация сжимается за счет визуализации, что делает ее более компактной и понятной
3	Визуальные подсказки	Используются эмодзи, выделение жирным шрифтом, переносы строк, маркдауны, диплинки	Видеоряд сопровождается звуковыми эффектами, озвучкой, всплывающими кнопками и интерактивными элементами
4	Трудозатраты на создание	Требуется меньше времени и ресурсов для создания и редактирования	Создание видео требует больше времени, ресурсов и специалистов (монтаж, озвучка, графика, сценарий)

Таблица 2. Примеры использования видеоконтента для банковского чат-бота

№	Наименование	Назначение
1	Обучающие ролики	Видеоинструкции по использованию банковских продуктов, можно предлагать навигационные решения по интерфейсам мобильного приложения/десктоп платформы, рассказывать про различные разделы и показывать, как проводить те или иные операционные действия: переводы, настройка автоплатежей, процесс оформления заказа платежного стикера, получение квитанции по покупке и так далее
2	Объяснение условий обслуживания	Видеоролики, объясняющие условия использования кредитных карт, вкладов или других финансовых продуктов, могут помочь пользователям лучше понять их преимущества и особенности
3	Рекомендации по продуктам	На основе анализа интересов пользователя чат-бот может предлагать помимо уведомлений и текстовых рассылок персонализированные видео о новых продуктах или акциях, что повышает вероятность конверсии и их использования
4	Рекламные ролики	Описание качеств продукта/услуги, донесение информации о всех преимуществах продукта/услуги для приобретения потребителем
5	Имиджевые ролики компании	Показ деятельности компании для привлечения инвестиций, внимания потребителя, получения конкурентных преимуществ

побудить зрителя к действию, будь то покупка продукта или выполнение других задач, способствующих достижению бизнес-целей. Например, интернет-магазины и маркетплейсы активно используют видео в карточках товаров, дополняя фотографии роликами с рекомендациями от продавцов или 360-градусными обзорами. Такие решения увеличивают время пребывания пользователя на странице (*duration time*) в среднем на 18%, а качественное видео – до 40 % [5]. Кроме того, вероятность совершения

покупки возрастает в среднем на 135 %. Аналогичный подход можно применить в чат-ботах. Интеграция видеоконтента улучшит пользовательский опыт, рекламное продвижение, продажи, сделав взаимодействие более интерактивным и эффективным.

Однако, чтобы завоевать доверие пользователя, необходимо тщательно анализировать целевую аудиторию. Разные возрастные группы имеют различные предпочтения. Молодежь предпочитает динамичные и инте-

Таблица 3. Общая статистика по сценарию «Отображение счетов/баланса»

Ключевые метрики	Первый месяц	Второй месяц
Количество запросов	14 889	15 141
Доля автоматизации	82,5 %	85,4 %
Средняя оценка сценария (5-балльная)	3,106	3,341
Количество оценок	378	434

Таблица 4. Статистика по отдельному ответу, содержащий видеоконтент

Ключевые метрики	Ответ без видео	Ответ с видео
Количество запросов	1 720	1 769
Доля автоматизации	98,2 %	98,8 %
Средняя оценка сценария (5-балльная)	3,048	3,611
Количество оценок	54	62

рактивные форматы, в то время как пожилые пользователи ценят простоту и наглядность. Видеоконтент может стать компромиссным решением, удовлетворяющим потребности обеих групп.

Использование исключительно текстовых инструкций в чат-ботах имеет ряд недостатков (табл. 1). Клиенты могут неправильно понимать предложенные инструкции ботом, особенно если текст объемный или плохо структурирован. Недочеты в редактуре и логике изложения могут замедлить обработку и усвоение информации, а в некоторых случаях привести к ее полному непониманию. Кроме того, текстовые инструкции часто требуют ручной настройки навигационных путей, что также добавляет объема информации в сообщении и делает его громоздким. Однако создание текстовых инструкций занимает меньше времени по сравнению с другими форматами контента. Для их подготовки достаточно изучить продуктовую область и составить текст, после провести его редактуру. В некоторых случаях можно использовать готовые материалы из базы знаний компании.

Для реализации маркетинговых и бизнес целей в банковском чат-боте можно внедрить следующие видеопродукты, представленные в табл. 2.

Результаты

Для оценки эффективности видеоконтента был проведен эксперимент в чат-боте мобильного приложения Альфа-Банка. В рамках исследования был выбран сценарий, связанный с отображением счетов и баланса. В один из ответов этого сценария был интегрирован видеоролик, чтобы сравнить его влияние на пользователей с традиционными текстовыми инструкциями.

Проведение A/B тестирования для определение группы пользователей показало повышение эффективности данного сценария. Анализ проводился на основе данных за два месяца: первый месяц – без видеоконтента, второй – с внедрением видео и доработанной логикой. Статистика по ключевым метрикам сценария, а также по отдельному ответу с видеоконтентом представлена в табл. 3–4.

Из данных таблицы видно, что при незначительном увеличении количества запросов доля около идеальной автоматизации выросла еще на 0,6 %. Также увеличилось количество оценок, оставленных пользователями, при этом стало меньше негативных отзывов. Рост средней оценки (*Voice of Customer – VOC*) самого ответа за месяц увеличился на значение 0,563 (с 3,048 до 3,611), это свидетельствует о повышении удовлетворенности клиентов. Учи-



Рис. 1. Изменение *VOC* в октябре



Рис. 2. Изменение *VOC* в ноябре

тая, что *VOC* измеряется по 5-балльной шкале, такой рост можно считать значительным успехом. Подробная динамика *VOC* показана на рис. 1–2.

Обсуждение

Видеоконтент обладает высокой масштабируемостью и может быть интегрирован в различные сценарии. Помимо чат-ботов, видеоконтент можно внедрять в другие разделы приложения. Например, популярным решением является использование видео в формате «*Story*», которое может наглядно объяснять, как работает накопительный счет, когда происхо-

дят выплаты, что такое минимальный остаток, *POS*-оборот и другие сложные понятия.

Видео улучшает восприятие информации, повышает вовлеченность пользователей и способствует росту автоматизации. Однако успех зависит от грамотного подхода: видеоконтент должен быть уместным, полезным и адаптированным под потребности целевой аудитории.

Результаты исследования показывают, что интеграция видеоконтента в чат-боты – это не просто тренд, а стратегическое решение, которое помогает компаниям соответствовать современным стандартам коммуникации и улучшать пользовательский опыт.

Список литературы

1. Бурмистров, А.М. Исследование современных тенденций развития цифровых маркетинговых технологий с позиции стратегических перспектив / А.М. Бурмистров, Е.М. Филипповская // Менеджер года-2023: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2023. – С. 31–35.
2. Ивашененко, М.М. Видеоконтент как основное направление цифрового маркетинга / М.М. Ивашененко // Матрица научного познания. – 2021. – № 1–2. – С. 108–113.
3. Кислицын, Е.В. Исследование рынка программных продуктов в России / Е.В. Кислицын // Мир экономики и управления. – 2019. – Т. 19. – № 2. – С. 49–64.
4. Петренко, А.Д. Корпоративный видеоконтент как инструмент маркетинга / А.Д. Петренко, Е.Э. Головчанская // Поиск (Волгоград). – 2024. – № 1(15). – С. 92–96.
5. Ширина, Н.М. Digital-маркетинг в стратегии продвижения модного бренда / Н.М. Ширина, А.С. Гусарова, Н.М. Квач // Дизайн и технологии. – 2022. – № 89(131). – С. 95–104.

References

1. Burmistrov, A.M. Issledovaniye sovremennykh tendentsiy razvitiya tsifrovyykh marketingovykh tekhnologiy s pozitsii strategicheskikh perspektiv / A.M. Burmistrov, Ye.M. Filippovskaya // Menedzher goda-2023: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Voronezh, 2023. – S. 31–35.
 2. Ivashenko, M.M. Videokontent kak osnovnoye napravleniye tsifrovogo marketinga / M.M. Ivashenko // Matritsa nauchnogo poznaniya. – 2021. – № 1–2. – S. 108–113.
 3. Kislitsyn, Ye.V. Issledovaniye rynka programmnykh produktov v Rossii / Ye.V. Kislitsyn // Mir ekonomiki i upravleniya. – 2019. – T. 19. – № 2. – S. 49–64.
 4. Petrenko, A.D. Korporativnyy videokontent kak instrument marketinga / A.D. Petrenko, Ye.E. Golovchanskaya // Poisk (Volgograd). – 2024. – № 1(15). – S. 92–96.
 5. Shirina, N.M. Digital-marketing v strategii prodvizheniya modnogo brenda / N.M. Shirina, A.S. Gusarova, N.M. Kvach // Dizayn i tekhnologii. – 2022. – № 89(131). – S. 95–104.
-

© Е.В. Кислицын, В.А. Шахназарян, 2025

УДК 330.3

А.Н. СИЛЕНКО, Р. Ш. СЕГИЗБАЕВ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва;

ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Ключевые слова: промышленные предприятия; стратегии развития; цифровизация.

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью выявления современных проблем и поиска путей совершенствования стратегии развития промышленных предприятий Республики Казахстан. Полученные результаты позволяют апробировать различные современные подходы к стратегическому управлению промышленных предприятий, в том числе в условиях цифровизации. Раскрыты основные направления стратегии развития промышленных предприятий с целью создания устойчивой и конкурентоспособной промышленной базы, которая включает сотрудничество государства, бизнеса и науки.

На сегодняшний день Республика Казахстан стремится к диверсификации экономики и снижению зависимости от сырьевого сектора. Для достижения поставленной цели определена задача создать конкурентоспособную стратегию развития промышленных предприятий, направленную на развитие высоких технологий и модернизацию производств [1].

Изучение мирового опыта показывает, что в большинстве случаев государственные стратегии развития промышленных предприятий формируются, опираясь на два подхода: развитие путем привлечения внутренних инвестиций и развитие за счет привлечения внешних инвестиций [2]. Для достижения поставленных целей предприятиям и инвесторам предлагаются различные налоговые и инвестиционные льготы. К ним относятся таможенные льготы, корпоративные подоходные и земельные налоговые каникулы, а также долгосрочные договоры

аренды земли для компаний, инвестирующих в ключевые отрасли.

В первом случае предполагается создание в рамках стратегии развития промышленных предприятий продукции с добавленной стоимостью. Это предполагает использование на производствах высокоразвитых технологий, человеческие и местные ресурсы (сельскохозяйственные, лесные, морские ресурсы). Во втором случае государство приглашает предприятия создавать производства в промышленных зонах, предлагая им базовую инфраструктуру (земля, водоснабжение, транспортная система, электроэнергия и т.д.).

Правительство Республики Казахстан приняло решение пойти по пути повсеместного применения сразу двух подходов – привлечение иностранных инвестиций и внутренних ресурсов страны. Одним из результатов достижения данной цели является становление Республики Казахстан единым центром инновационного развития среди стран Центральной Азии.

Основным драйвером развития экономики страны признана обрабатывающая промышленность, развитие которой будет достигаться путем цифровизации и трансформации действующих производств [3]. Основными источниками привлечения иностранных инвестиций в промышленные предприятия Республики Казахстан в 2023 г. стали Франция, Нидерланды, США.

Первым шагом к достижению конкурентоспособной стратегии развития промышленных предприятий является оцифровка производства. В таблице представлены основные особенности влияния оцифровки производства промышленных предприятий на рынок труда.

Результатом такой политики стало то, что

Таблица 1. Влияние оцифровки промышленных предприятий на рынок труда

№	Эффект	Описание
1	Создание рабочих мест	Внедрение цифровых продуктов и технологий требует привлечения специалистов, имеющих практические навыки и знания работы с ними
2	Потребность в новых навыках и знаниях сотрудников	Необходимо наличие навыков цифровой грамотности
3	Оптимизация бизнес-процессов	Происходит повышение производительности и эффективности труда за счет налаживания взаимосвязи между отделами предприятия
4	Поддержка различных инновационных и научных инициатив	Позволяет создавать новые рабочие места, стимулирует развитие образования и науки

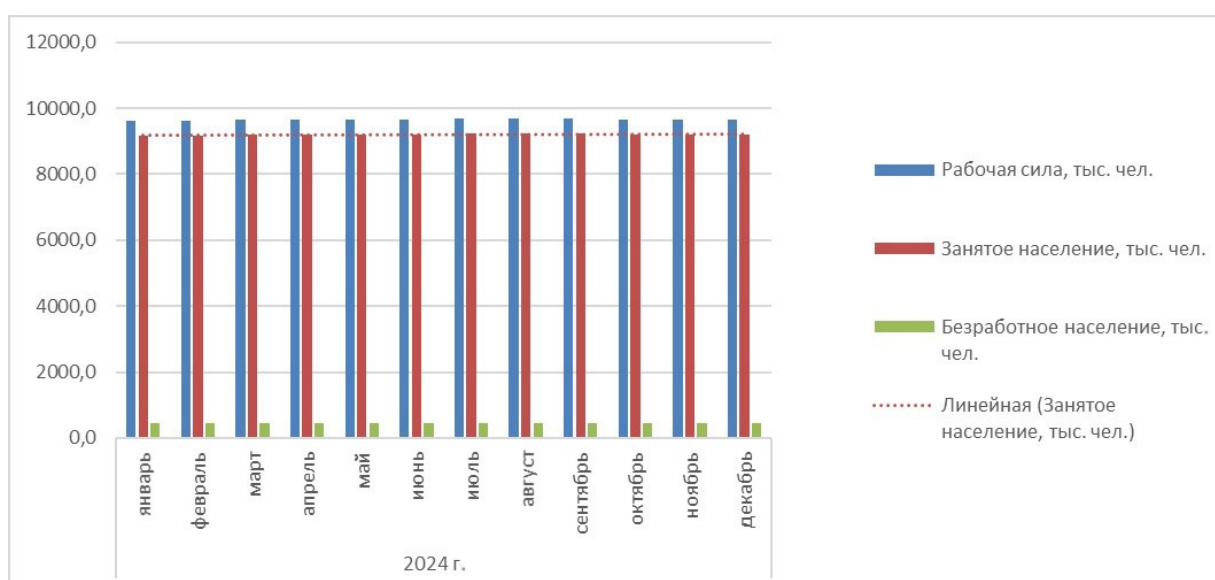


Рис. 1. Основные индикаторы рынка труда Республики Казахстан, 2024 г.

в 2025 г. промышленный сектор занял одну треть экономики страны, обеспечивая занятость населения более 12 % человек (рис. 1.). На предприятиях горнодобывающей промышленности работает свыше 300 тысяч человек.

На промышленный сектор приходится более 26 % внутреннего валового продукта (ВВП) Казахстана, из них на горнодобывающую промышленность и разработку карьеров – 14,1 %, на обрабатывающие производства – 12,1 % [4].

Особая роль в привлечении иностранных инвесторов в страну отводится Казахской го-

сударственной инвестиционной компании, которая предлагает широкий спектр услуг по вопросам инвестирования. В целях создания благоприятного инвестиционного климата и повышения прозрачности бизнеса Правительство Казахстана ввело привлекательные инвестиционные проекты и контракты, которые дополняются щедрыми стимулами, такими как налоговые льготы и государственные гранты в натуральной форме. Государственная инвестиционная корпорация Казахстана ведет актуальный перечень различных видов инвестиционных проектов и контрактов.

В 2024 г. в Казахстане реализовано в общей

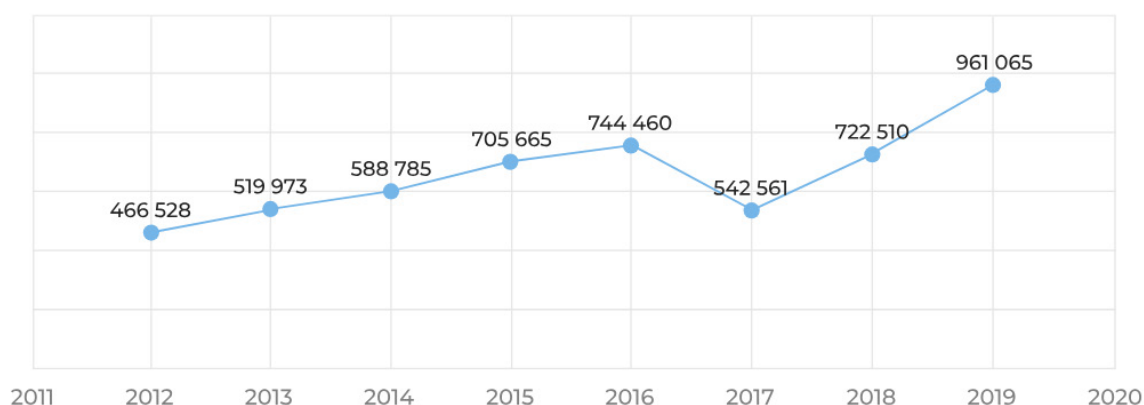


Рис. 2. Общий объем инвестиций в основной капитал горнодобывающих компаний

сложности 170 проектов в обрабатывающем секторе с общим объемом инвестиций 928 млрд тенге. Согласно плану, в 2025 г. в Казахстане будет введено в эксплуатацию 180 производственных проектов, в том числе Павлодарский областной завод ферросплавов, Кастанайский областной завод запчастей для грузовых автомобилей, Карагандинский областной завод по производству конических стальных башен ветрогенераторов, Алматинский областной завод по переработке теплоизоляционных материалов.

Общий объем инвестиций составляет около 1,2 трлн тенге. Данный проект будет способствовать созданию более 17 тысяч рабочих мест. По состоянию на 2020 г. общий объем инвестиций в основной капитал горнодобывающих компаний составил 1 060 млрд тенге (рис. 2).

На основании данного подхода Республика Казахстан определяет основные направления стратегии развития промышленных предприятий [5]:

- инновации и научные исследования;
- развитие человеческого капитала и повышение квалификации работников;
- создание современного инфраструктурного обеспечения;
- поддержка малых и средних предприятий.

Рассмотрим ситуацию развития промышленного предприятия на примере АО НК «КазМунайГаз» (КМГ). Общество было основано в 2002 г. и играет ключевую роль в нефтегазовом секторе Республики Казахстан. Компания

управляет активами на всех этапах производственного цикла: от разведки и добычи углеводородов до их транспортировки, переработки и предоставления связанных сервисов. В течение следующих десяти лет рост КМГ будет обеспечен благодаря увеличению ресурсной базы, повышению эффективности производства, расширению цепочки добавленной стоимости, внедрению новых технологий и снижению углеродного следа.

Одним из главных приоритетов стратегического направления АО НК «КазМунайГаз» является интеграция принципов устойчивого развития в основные бизнес-процессы, осознавая свое влияние на экономику, окружающую среду и общество.

Стратегические цели АО НК «КазМунайГаз»:

- обеспечение достаточной ресурсной базы для роста компании;
- увеличение эффективности цепочки создания стоимости;
- диверсификация бизнеса и расширение продуктового портфеля;
- устойчивое развитие с поэтапным снижением углеродоемкости производства.

Реализация стратегии требует комплексного подхода, включающего сотрудничество государства, бизнеса и науки для создания устойчивой и конкурентоспособной промышленной базы.

Цели стратегии развития промышленного предприятия должны включать в себя [6]:

- увеличение производительности и эффективности;

- диверсификация ассортимента продукции;
- повышение конкурентоспособности на рынке;
- устойчивое развитие и соблюдение экологических норм.

Анализ текущего состояния предприятия включает:

- оценку внутренней среды (ресурсы, технологии, квалификация персонала);
- анализ внешней среды: (конкуренты, рынок, изменения в законодательстве);
- *SWOT*-анализ для выявления сильных и слабых сторон, а также возможностей и угроз.

В настоящее время обрабатывающая промышленность стремительно движется от простого уровня автоматизации к комплексному внедрению интеллектуальных решений. Ранее Индустрия 3.0 фокусировалась на отдельных производственных процессах и рабочих станциях для удовлетворения разрозненных потребностей. Эту модель заменяли сложные приложения, основанные на ручном или интуитивном подходе с использованием передовых технологий и искусственного интеллекта.

Ключевым аспектом является сегодня создание процесса прозрачного сбора данных и передачи информации о деятельности производства в режиме реального времени. Все это позволит обеспечить понимание производственных процессов и осуществить своевременное принятие решения.

Однако, чтобы этого достигнуть, необходимо решить такую проблему, как недостаточная связь между различными отделами промышленных предприятий. Решение вопроса взаимосвязи между внутренними отделами промышленного предприятия обеспечит более эффективную передачу информации, интеграцию функций, а также повысит прозрачность данных. Все это, в свою очередь, повысит видимость заказов на предприятии и улучшит своевременность их исполнения.

Данный процесс является цифровой трансформацией промышленности – это повышение инновационности новых бизнес-моделей промышленных предприятий, совершенствование моделей выручки и прибыли, а также технологических прорывов (за счет модернизации и трансформации) [7].

В рамках цифровой трансформации промышленности происходит совершенствование производства. Под этим процессом понимается не что иное как процедура автоматизации производства и оптимизация его производственных процессов.

Разработка стратегии развития промышленных предприятий требует глубокого анализа. Комплексный подход стратегии развития промышленности Республики Казахстан заключается в проработке и создании устойчивой, конкурентоспособной экономики, которая ориентирована на диверсификацию производственных секторов и модернизацию технологий.

Модернизация промышленности подразумевает развитие науки, техники, внедрение передовых технологий, включение научных методов управления. В определенном смысле модернизация промышленных предприятий – это процесс, который строится на основе научно-технического процесса. Именно этот подход сегодня является неизбежной тенденцией в современном мире.

Чтобы способствовать осуществлению модернизации промышленности сегодня необходимо начать с совершенствования инфраструктуры, увеличения человеческого капитала, внедрения научно-технических инноваций. Инфраструктура является не только важной опорой социального и экономического развития, но и необходимой базой для модернизации промышленности.

Основные аспекты стратегии развития промышленных предприятий в Республике Казахстан:

- поддержка со стороны государства реального сектора экономики;
- развитие промышленной отрасли в стране, в частности обрабатывающей промышленности;
- непрерывное применение природных и человеческих ресурсов;
- внедрение цифровых технологий в производство предприятий;
- улучшение в стране инвестиционного климата (как для отечественных, так и для зарубежных инвесторов).

Цель стратегии развития промышленных предприятий заключается в повышении эффективности производства, создании новых рабочих мест, а также увеличении доли вы-

сокотехнологичных товаров на внутреннем и внешнем рынках. Помимо этого, развитие промышленных предприятий будет способствовать увеличению человеческого капитала и обеспечению доступа к качественному образованию.

Список литературы

1. Калиакпарова, Г.Ш. Конкурентоспособность промышленных предприятий Республики Казахстан в условиях пандемии / Г.Ш. Калиакпарова, Е.Е. Гриднева, Н.М. Калманова // Вестник университета Туран. – 2021. – № 2(90). – С. 45–53.
2. Лавров, М.Н. Перспективы развития стратегического партнерства Китая и Узбекистана / М.Н. Лавров, Е.В. Семенова // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 105-8. – С. 150–152.
3. Мазалов, Н.Е. Стратегия управляемого развития – основная стратегическая альтернатива управления развитием промышленных предприятий и корпораций / Н.Е. Мазалов // Вестник факультета управления СПбГЭУ. – 2020. – № 8. – С. 68–75.
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1050 «Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020–2025 годы».
5. Силенко, А.Н. Анализ проблем, связанных с оптимизацией структуры управления на примере действующего предприятия (Республика Казахстан) / А.Н. Силенко, Ж.Е. Куанышбек // Приоритетные направления развития образования и науки: материалы III Международной научно-практической конференции / редкол.: О.Н. Широков. – 2017. – С. 361–363.
6. Силенко, А.Н. Оптимизация организационной структуры как механизм повышения эффективности деятельности предприятия / А.Н. Силенко, Д.Ю. Правник, Ж.Е. Куанышбек // Образование и наука в современных реалиях: материалы V Международной научно-практической конференции / редкол.: О.Н. Широков и др. – 2018. – С. 347–350.
7. Толстых, Т.О. Принципы и цели устойчивого развития в стратегиях развития промышленных предприятий / Т.О. Толстых, О.А. Кондратьева // Регион: системы, экономика, управление. – 2021. – № 3(54). – С. 120–127.

References

1. Kaliakparova, G.SH. Konkurentosposobnost' promyshlennykh predpriyatiy Respubliki Kazakhstan v usloviyakh pandemii / G.SH. Kaliakparova, Ye.Ye. Gridneva, N.M. Kalmanova // Vestnik universiteta Turan. – 2021. – № 2(90). – S. 45–53.
2. Lavrov, M.N. Perspektivy razvitiya strategicheskogo partnerstva Kitaya i Uzbekistana / M.N. Lavrov, Ye.V. Semenkova // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2024. – № 105-8. – S. 150–152.
3. Mazalov, N.Ye. Strategiya upravlyayemogo razvitiya – osnovnaya strategicheskaya al'ternativa upravleniya razvitiyem promyshlennykh predpriyatiy i korporatsiy / N.Ye. Mazalov // Vestnik fakul'teta upravleniya SPbGEU. – 2020. – № 8. – S. 68–75.
4. Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 31 dekabrya 2019 goda № 1050 «Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy programmy industrial'no-innovatsionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2020–2025 gody».
5. Silenko, A.N. Analiz problem, svyazannykh s optimizatsiyey struktury upravleniya na primere deystvuyushchego predpriyatiya (Respublika Kazakhstan) / A.N. Silenko, ZH.Ye. Kuanyshbek // Prioritetnyye napravleniya razvitiya obrazovaniya i nauki: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / redkol.: O.N. Shirokov. – 2017. – S. 361–363.

6. Silenko, A.N. Optimizatsiya organizatsionnoy struktury kak mekhanizm povysheniya effektivnosti deyatel'nosti predpriyatiya / A.N. Silenko, D.YU. Pravnik, ZH.Ye. Kuanyshbek // Obrazovaniye i nauka v sovremennykh realiyakh: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / redkol.: O.N. Shirokov i dr. – 2018. – S. 347–350.

7. Tolstykh, T.O. Printsipy i tseli ustoychivogo razvitiya v strategiyakh razvitiya promyshlennykh predpriyatiy / T.O. Tolstykh, O.A. Kondrat'yeva // Region: sistemy, ekonomika, upravleniye. – 2021. – № 3(54). – S. 120–127.

© А.Н. Силенко, Р. Ш. Сегизбаев, 2025

УДК 338.4

Ю.А. ШИКОВ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: Индустрия 4.0; облачные сервисы; промышленный интернет вещей; сетевый подход; текстильная и легкая промышленность; управление производством; цифровые технологии.

Аннотация. В статье представлен инновационный сетевый подход к управлению производством предприятий текстильной и легкой промышленности. Обоснована необходимость цифровизации производственных процессов на основе включения в единую информационно-техническую сетевую структуру, включающую данные о ресурсах, оборудовании участников, заказах, позволяющих в реальном времени организовать производство, оптимизировать бизнес-процессы, оперативно выявлять и устранять проблемы и «узкие места» на всех технологических участках. Цель исследования состоит в разработке современных подходов к цифровизации производственных процессов на основе технологий концепции «Индустрия 4.0», промышленного интернета вещей, облачных сервисов, искусственного интеллекта. Сделан вывод о том, что при включении в контур сетевого управления партнеров предприятия, клиентов и поставщиков будет создана полноценная цифровая экосистема управления промышленным предприятием, способная оперативно решать любые проблемы и вызовы в будущем.

Введение

Анализ внедрения цифровых технологий в экономику и, в частности, в промышленное производство, показывает, что информацион-

ные и цифровые технологии, повышая конкурентоспособность, масштабируют возможности предприятия, позволяя расширять в том числе нишу и географию реализации продукции. Внедрение искусственного интеллекта и сквозных цифровых технологий в целом показали миру новые способы работы и ведения бизнеса. И производственные предприятия стали развиваться и оптимизироваться благодаря таким новшествам, что видно из опубликованного прогноза развития России на период 2022–2026 гг. [1] (табл. 1.).

Совершенствованию производства предприятий легкой и текстильной промышленности помогают государственные программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» [2] и федеральный проект «Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 г.».

Планируется, что многие предприятия будут оснащены собственной базой сырья и необходимыми материалами благодаря реализации проектов, направленных на цифровую трансформацию. Планируется спрос производства на отечественном рынке с учетом собственных материалов, что немаловажно для населения. Ожидается, что к 2026 г. возрастет спрос изделий легкой промышленности на 4 % (табл. 2).

Как отмечает Минэкономразвития России, динамика роста производства в легкой промышленности в 2024–2026 гг. превысит уровень производства в 2022 г. Внутренний спрос, в связи с выходом с российского рынка многих брендов в 2022 г., увеличивается, в том числе этому способствует развитие цифровых каналов сбыта продукции (интернет-магазины, маркетплейсы и др.). Необходимость внедрения

Таблица 1. Динамика промышленного производства 2022–2026 гг. [1] (прогноз социально-экономического развития Российской Федерации Минэкономразвития)

№	Направления производства	2022	2023	2024	2025	2026	2026/2022
1	Промышленность (всего)	0,6	3,6	2,6	2,2	2,3	11,1
2	Добыча полезных ископаемых	1,3	-0,7	0,7	1,9	2,0	3,9
3	Обрабатывающие производства	0,3	7,2	3,9	2,5	2,6	17,1
4	Эл. энергия, газ, пар и др.	0,5	1,2	1,4	1,7	1,5	5,9
5	Водоснабжение, водоотведение, утилизация отходов и др.	-3,3	-0,7	2,0	2,0	2,0	5,4

цифровых технологий в процесс создания продукта, начиная от проектирования, разработки и заканчивая сбытом, определяется политикой, направленной на развитие предприятий отрасли в рамках четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0».

Развитие цифровых технологий обуславливает целесообразность использования единой выстроенной системы технологий в группе компаний. К тому же, сильная цифровая система позволяет не только принимать оперативно управленческие решения, но и увеличивать индивидуализацию предложений, а вместе с тем – клиентоориентированность и конкурентоспособность.

В новых цифровых условиях возникают возможность участия потребителя в создании продукта, а также возможность получения оперативной обратной связи, что увеличивает и скорость принятия адекватных управленческих решений. Интересен опыт так называемого «прозрачного рабочего процесса», когда данные из информационной системы предприятия в онлайн-формате поступают заказчику о степени или проценте готовности его заказа, а во многих случаях и видео с камер, установленных в цехах, на которых заказчик видит весь процесс производства.

«Анализ показал, что на современных предприятиях и концернах находит применение сетевый подход, позволяющий повысить эффективность их деятельности. Для реализации сетевого подхода требуется построение интеграционной платформы, представляющей собой программно-аппаратную инфраструктуру и позволяющей организовывать обмен данными между компонентами инфраструктуры предприятия, распределенными приложениями и информационными системами

для поддержки, мониторинга и управления производственными и бизнес-процессами предприятия» [3]. Такой индивидуализированный открытый подход в значительной степени повышает доверие и уважение клиентов к производственному предприятию, делает его удобным и надежным партнером, что обеспечивает ему конкурентные преимущества при прочих равных условиях.

В связи с этим большая цифровая экосистема, формируемая в рамках современного предприятия или нескольких промышленных предприятий, более целесообразна, поскольку дает возможность создавать инновационные стартапы и избегать при этом влияния разрушающих инноваций и последствий, связанных с этими процессами.

Методы исследования

Для российских промышленных предприятий цифровизация уже стала среднесрочной тенденцией. Начиная с 2017 г. цифровая трансформация представляет собой способ повышения эффективности как производственных, так и всех бизнес-процессов. Изменяя подход к производственным процессам и креативно применяя новые цифровые технологии, компании разрабатывают ряд уникальных решений, не имеющих аналогов в мире: датчики для промышленного интернета вещей и интеллектуальные платформы для сбора и анализа данных; инструменты дополненной реальности, внедренные в производственные процессы; цифровые двойники для реализации крупных инвестиционных проектов и многое другое. «При сетевом подходе организации работники могут создавать и использовать информацию для повышения конкурентных преимуществ за счет

Таблица 2. Динамика производства продукции легкой промышленности (базовый сценарий), 2023–2026 гг., в % к предыдущему году

Деятельность	2023 г.	План		
		2024 г.	2025 г.	2026 г.
Текстильное производство	0,8	4,0	3,8	3,7
Тканное производство	4,8	4,8	4,3	4,8
Кожаное производство	10,2	4,3	4,2	2,6

сотрудничества малых и гибких самоуправляемых команд» [4].

Разработка собственных подходов к вопросам цифровой трансформации поможет предприятию с высокоточным планированием, контролем всех процессов производства, управления качеством выпускаемой продукции, выявлением и локализацией брака. Использование сетецентрического подхода особенно важно для промышленных предприятий отрасли, когда оперативность и объективность информации оказывают существенное влияние на реализацию бизнес-процессов. «Применительно к реально действующим организациям и рынкам сетецентрическая модель управления может быть реализована в тех системах, в которых высока роль информации и генерирования знаний» [5]. Внедрение собственных методов и моделей позволит быстро реагировать на экономические трудности, оптимизацию ресурсов и финансовых потерь, предпочтения клиентов и заказчиков.

Результаты

С каждым годом переход к цифровизации будет более важен для эффективности и развития деятельности промышленных предприятий. Планируются рост прибыли, видение новых инвестиций, анализ реализуемых технологий конкурентами. С 2021 г. в России эффективно внедряются производственные методы, создающие отчетность об использовании технологического прогресса, т.к. востребованным становятся цифровое моделирование, прогноз и оценка принятых решений. Государством предлагается поддержка на разработку технологического оснащения, помогающего деятельности компаний, в размере 19 млн руб. с окупаемостью в три года.

Развитие цифровых технологий для предприятий легкой и текстильной промышленности требует обучения работы с современными цифровыми технологиями и программным обеспечением. В результате исследования определено, что наиболее перспективным подходом к цифровизации процессов управления производством является сетецентрический подход. В общем виде структура системы управления предприятием на основе сетецентрического подхода состоит из трех уровней управления: стратегического, тактического и оперативного, представленного на рис. 1.

Предприятие рассматривается как сетевая структура производства, компоненты которой взаимосвязаны и непрерывны для технологического процесса. Понятие сетецентрической системы образует понятие сетецентрической структуры, которая позволяет организовать сбор, анализ, обработку производственной информации от всех возможных источников и на основе искусственного интеллекта в онлайн-формате принимать решения о функционировании производства. Это касается всех технологических операций, работоспособности и готовности оборудования, наличия персонала, сырья, материалов, заказов, расчетов себестоимости и ликвидации «узких мест» и проблем на производстве. Сетецентрическая структура – это способность предприятиями распределять информацию для увеличения конкурентоспособности и устранения малых и средних компаний. Сетецентричность позволяет организовывать систему управления так, что реализуется желанный режим ситуационной задачи.

На основе проведенного исследования предлагается авторское определение понятия «сетецентрической системы» управления: сетецентрическая система – это интегрированная

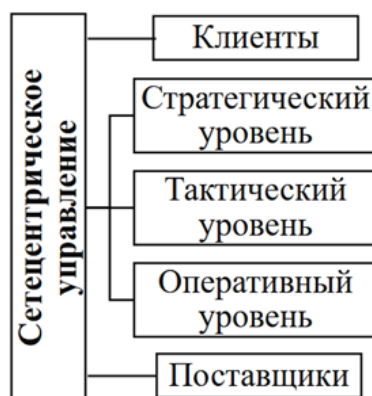


Рис. 1. Общая схема сетецентрического управления

информационно-техническая сетевая система управления, объединяющая в единый контур управления все элементы, ресурсы и оборудование предприятия на основе технологий искусственного интеллекта и промышленного интернета вещей.

Применение сетецентрического моделирования позволяет не только организовать высокоэффективный производственный процесс в реальном времени на основе синхронизированного управления оборудованием, персоналом и ресурсами, но и осуществить прогнозирование развития бизнес-процессов и производственно-технологических операций. Обеспечивают такое онлайн-управление облачные сервисы, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, технологии блокчейн. Далее возможно создание эффективных цепочек поставок произведенной продукции на основе созданных цифровых платформ [7].

Российским производственным предприятиям необходимо улучшать технические активности по вопросам применения современных цифровых технологий и отечественного программного обеспечения. Это же касается совершенствования автоматизированных систем управления технологической подготовкой производства. Особое место в системах управления промышленными предприятиями занимают MES-системы (*Manufacturing Execution Systems*), образующие ядро сетецентрической системы и являющиеся связующим звеном между стратегическим уровнем управления и производственной

деятельностью.

Заключение

Сетецентрическое управление производством становится не просто новой информационной системой промышленного предприятия, а представляет целый инновационный подход к организации производства. Внедрение таких технологий требует не только современного оборудования, оснащенного датчиками и системами промышленного интернета вещей, использующими облачные сервисы и современное программное обеспечение, но и подготовки персонала, готовности применять такие технологии. Сетецентрический подход активно используется не только на предприятиях текстильной и легкой промышленности, но и в других отраслях [9]. «Данный подход дает возможность эффективно применить не только управленческий контур системы, но и потенциал самоорганизации социально-экономических систем (институтов) различных уровней сложности, а также организовывать целостную информационную среду с возможностью применения современных информационно-коммуникационных технологий» [10].

При включении в контур сетецентрического управления партнеров предприятия, клиентов и поставщиков будет создана полноценная цифровая экосистема управления промышленным предприятием, способная оперативно решать любые проблемы и вызовы в будущем.

Список литературы

1. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов / Официальный сайт Минэкономразвития России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognost_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2024_god_i_na_planovyy_period_2025_i_2026_godov.html.
2. Государственная программа «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» / Официальный сайт Правительства России. – Утверждена постановлением Правительства от 15.04.2014 г. № 328 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://government.ru/rugovclassifier/862/events>.
3. Микрюков, А.А. Парадигма сетецентрического управления предприятием и особенности ее реализации / А.А. Микрюков // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 5. – С. 75–79.
4. Иванюк, В.А. Сетецентрические методы управления / В.А. Иванюк, Н.М. Абдикеев, Ф.Ф. Пашченко, Н.В. Гринева // Управленческие науки (Management Sciences). – 2017. – Т. 7. – № 1. – С. 26–34.
5. Тихомирова, О.Г. Сетецентрическая модель формирования, развития и управления социально-экономическими системами / О.Г. Тихомирова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2023. – № 3. – С. 109–114.
6. Шиков, А.Н. Управление бизнес-процессами проектных команд при разработке ИТ-систем / А.Н. Шиков, И.Е. Беленькая // Перспективы науки. – 2024. – № 9(180). – С. 27–31.
7. Сунь, Чуньсин. Модель сетевой цифровой платформы управления инновациями и инновационными проектами в сфере сервисов интеллектуальных цепочек поставок / Чуньсин Сунь // ЭТАП. – 2025. – № 1. – С. 153–169.
8. Shikov, P.A. Organizational problems of creating a production company and the ways of their solution / P.A. Shikov, M.P. Vlasov, L.N. Nikitina, Yu.A. Shikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – No. 6(72). – P. 6–14.
9. Лонцих, П.А. Модернизация сетецентрической концепции в обогащательном производстве / П.А. Лонцих, А.В. Федотова, Е.Ю. Головина, Н.П. Лонцих, М.В. Евлосева // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2024. – № 4. – С. 152–162.
10. Дегтярев, С.В. Сетецентрическая концепция управления в цифровой экономике / С.В. Дегтярев, А.А. Солдатов, А.Ю. Ершов // Вестник Академии знаний. – 2022. – № 2(49). – С. 96–102.

References

1. Prognost sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na 2024 god i na planovyy period 2025 i 2026 godov / Ofitsial'nyy sayt Minekonomrazvitiya Rossii [Electronic resource]. – Access mode : https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognost_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2024_god_i_na_planovyy_period_2025_i_2026_godov.html.
2. Gosudarstvennaya programma «Razvitiye promyshlennosti i povysheniye yeye konkurentosposobnosti» / Ofitsial'nyy sayt Pravitel'stva Rossii. – Utverzhdena postanovleniyem Pravitel'stva ot 15.04.2014 g. № 328 [Electronic resource]. – Access mode : <http://government.ru/rugovclassifier/862/events>.
3. Mikryukov, A.A. Paradigma setetsentricheskogo upravleniya predpriyatiyem i osobennosti yeye realizatsii / A.A. Mikryukov // Innovatsii i investitsii. – 2019. – № 5. – S. 75–79.
4. Ivanyuk, V.A. Setetsentricheskiye metody upravleniya / V.A. Ivanyuk, N.M. Abdikeyev, F.F. Pashchenko, N.V. Grineva // Upravlencheskiye nauki (Management Sciences). – 2017. – T. 7. – № 1. – S. 26–34.
5. Tikhomirova, O.G. Setetsentricheskaya model' formirovaniya, razvitiya i upravleniya sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami / O.G. Tikhomirova // Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. – 2023. – № 3. – S. 109–114.
6. Shikov, A.N. Upravleniye biznes-protsessami proyektnykh komand pri razrabotke IT-sistem /

A.N. Shikov, I.Ye. Belen'kaya // Perspektivy nauki. – 2024. – № 9(180). – S. 27–31.

7. Sun', Chun'sin. Model' setevoy tsifrovoy platformy upravleniya innovatsiyami i innovatsionnymi proyektami v sfere servisov intellektual'nykh tsepochek postavok / Chun'sin Sun' // ETAP. – 2025. – № 1. – S. 153–169.

8. Shikov, P.A. Organizational problems of creating a production company and the ways of their solution / P.A. Shikov, M.P. Vlasov, L.N. Nikitina, Yu.A. Shikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – No. 6(72). – P. 6–14.

9. Lontsikh, P.A. Modernizatsiya setetsentricheskoy kontseptsii v obogatitel'nom proizvodstve / P.A. Lontsikh, A.V. Fedotova, Ye.YU. Golovina, N.P. Lontsikh, M.V. Yevloyeva // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova. – 2024. – № 4. – S. 152–162.

10. Degtyarev, S.V. Setetsentricheskaya kontseptsiya upravleniya v tsifrovoy ekonomike / S.V. Degtyarev, A.A. Soldatov, A.YU. Yershov // Vestnik Akademii znaniy. – 2022. – № 2(49). – S. 96–102.

© Ю.А. Шиков, 2025

НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ
SCIENCE AND BUSINESS: DEVELOPMENT WAYS
№ 6(168) 2025
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 23.06.2025 г.

Формат журнала 60×84/8

Усл. печ. л. 29,8. Уч.-изд. л. 11,25.

Тираж 1000 экз.