

ISSN 2221-5182

Импакт-фактор РИНЦ: 0,485

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

№ 5(167) 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:

- Машины, агрегаты и технологические процессы
- Роботы, мехатроника и робототехнические системы
- Технология машиностроения
- Методы и приборы контроля и диагностики материалов

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

- Математическое моделирование и численные методы
- Информационная безопасность

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ:

- Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства
- Математические, статистические и инструментальные методы в экономике
- Региональная и отраслевая экономика
- Менеджмент
- Материалы XII Международной научно-практической конференции «Наука. Общество. Бизнес»

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 экономической социологии Санкт-Петербургского государственного университета; тел.: 8(812)274-97-06; E-mail: elena.tarando@mail.ru.

Воронкова Ольга Васильевна – д.э.н., профессор, председатель 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, заведующая 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 информатики и библиотек Университета Лиона; тел.: 8(912)789-00-32; E-mail: omar.larouk@enssib.fr.

Левшина Виолетта Витальевна – д.т.н., профессор кафедры управления 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 кафедры социального анализа и математических методов в социологии Санкт-Петербургского государственного университета; тел.: 8(921)937-58-91; E-mail: tatiana_malinina@mail.ru.

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

Надточий Игорь Олегович – д.ф.н., профессор, заведующий кафедрой философии Воронежской государственной лесотехнической 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 расчетов Российского государственного аграрного университета – Московской 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 Шаньдунского 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 аграрного 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. Постановка задачи и концептуально-функциональное проектирование интеллектуальной программы контроля посещаемости занятий студентами в высших учебных заведениях	10
Емельянов И.Е., Григорьева А.Л. Разработка математической модели и интеллектуальной программы контроля посещаемости занятий студентами в высших учебных заведениях ...	17
Жаринов Ю.А., Беляев Б.В., Абдрахманова А.И. Разработка программного приложения составления отчетов по выполненным заявкам	24
Каюмов Р.А., Гришин И.В. Инженерная методика расчета стержней симметричного двутаврового сечения при стесненном кручении.....	29
Кравец П.С., Калитин Д.В. Адаптация больших языковых моделей для специфичных областей: техники и вызовы.....	34
Носков С.И., Беляев С.В., Медведев А.П. Кластеризация переменных в простой вложенной кусочно-линейной регрессии первого типа	39
Носков С.И., Беляев С.В., Чекалова А.Р., Медведев А.П. Оценивание параметров и группировка переменных в смешанной кусочно-линейной регрессии	44
Петров К.А., Быков В.В., Ахметов И.В. Оптимизация процесса экспертизы газового оборудования при помощи чат-бота с рекомендательной системой на основе машинного обучения	49

Информационная безопасность

Жаринов Ю.А., Гаврилов С.В., Буланкина О.А. Конвертер промышленных протоколов	53
Коданев В.Л., Храпкина О.Д. Обеспечение защиты информации от утечек по техническим каналам на предприятии	61
Prozorov M.D., Morokhova O.A. Information Protection: Strategies and Processes	66

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Машины, агрегаты и технологические процессы

Гайсина А.Р., Прозорова О.Б., Лихачева Н.А. О возможности производства бутена-1 из бутан-бутадиеновой фракции пиролиза	70
Уразаков К.Р., Горбунов Д.Д. Исследование тягового усилия при различных режимах работы трехплунжерной установки с линейными электродвигателями	76

Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Довтоленко Д.В., Валеева М.В., Ипполитова Е.В. Исследование энергетических затрат движения колесного робота.....	80
Поливанов А.Ю., Дабул Юсеф, Алфарви Исса, Муса Зейн Ключевые особенности перехода между системами координат для робота KUKA KR16 с интегрированной системой технического зрения	88

Технология машиностроения

- Астапова И.В.** Быстро разворачиваемый комплекс для ликвидации разливов нефтепродуктов..... 96
- Хрусталева И.Н., Черных Л.Г., Хрусталев М.Б., Бровкина Я.Ю.** Модель многокритериальной оптимизации технологического маршрута обработки конструкторского элемента изделия..... 100

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

- Терентьев А.С., Дрокин Е.Е., Орешенко Т.Г.** Верификация существующих припоев, используемых для пайки микроэлектроники 108

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

- Бидов Т.Х., Иванов Н.Д., Реутова Д.А., Потапенко С.М.** Важность корректности расчета электроэнергии ТПМК на сметную стоимость строительства московского метрополитена.....110
- Бидов Т.Х., Иванов Н.Д., Реутова Д.А., Потапенко С.М.** Методика определения нормативной продолжительности строительства объектов при комплексном развитии территории112
- Бидов Т.Х., Рахматуллина Э.Р., Реутова Д.А., Потапенко С.М.** Расчет среднесписочной численности рабочих при капитальном ремонте средней образовательной школы: практический пример и анализ.....114
- Бидов Т.Х., Реутова Д.А., Рахматуллина Э.Р., Потапенко С.М.** Организация строительства с применением 3D-печати.....115
- Вишневецкий А.Р., Тюков А.П., Харина С.М., Мальцев А.М., Пономарев К.Г.** Онтологический подход к управлению климатическими рисками в городской инфраструктуре.....116
- Волошин Ю.Н., Ногеров И.А.** Анализ качества очистки зерновой смеси по признаку длины117
- Жильникова Н.А.** Повышение эффективности водопользования в производственных водохозяйственных системах 123
- Козьминых М.Ю., Остапенко М.С.** Проблемы стандартизации применения риск-ориентированного подхода в обеспечении безопасности высокотехнологичных предприятий 127
- Криони И.Н., Болсуновская М.В.** Обзор методов автоматизации проектирования жилых многоквартирных зданий 134
- Минахметов А.И., Морева И.В.** Повышение эффективности организации рабочих мест на промышленном предприятии (на примере АО «КМПО») 142
- Харина О.С., Жданов Э.Р., Олейник А.В., Козлов Е.Ю.** Методы гибкого управления производственной деятельностью 147

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

- Булгыгина О.В.** Нечеткий биоэвристический метод формирования состава участников мультипроекта создания наукоемкой продукции 154
- Ураков И.В., Коростелкина И.А.** Современные инструменты оценки благонадежности контрагентов: сравнительный анализ российских информационно-аналитических

платформ.....	159
Региональная и отраслевая экономика	
Ребров А.А., Колотырин К.П. Мотивация государственного сектора при реализации инвестиционных проектов по глубокой переработке зерна в рамках государственно-частного партнерства	165
Менеджмент	
Якубова Т.Н., Плющев А.А. Проблемы развития средиземноморских курортов Египта и перспективы их продвижения среди туристов из РФ	169
МАТЕРИАЛЫ XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «НАУКА. ОБЩЕСТВО. БИЗНЕС»	
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Математическое моделирование и численные методы	
Емельянов Е.Н., Емельянов И.Е. Математическая формализация и разработка интеллектуальной системы предиктивной диагностики промышленного оборудования на основе рекуррентных нейронных сетей	173
Рудой В.М. Интеллектуальная система мониторинга и прогнозирования транспортных перегрузок в умных городах на основе Java	178
Торшина О.А., Плугина Н.А., Светус К.О. Математическое моделирование процесса теплопроводности в металлургическом производстве	184
Информационная безопасность	
Жаринов Ю.А., Гаврилов С.В., Сидорова В.А. Обоснование использования NFC-меток для идентификации сотрудников и управления доступом в организации	188
Чупрыгин А.В., Бутузов А.В., Коданев В.Л. Меры по предотвращению несанкционированного доступа к файловым серверам коммерческого предприятия	193
Технология машиностроения	
Хрусталева И.Н. Оптимизационная модель загрузки парка станочного оборудования в рамках календарного года	198
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА	
Региональная и отраслевая экономика	
Воронкова О.В., Обама Нгема Эваристо Социально-экономические аспекты развития общества Республики Экваториальной Гвинеи.....	202
Петрова Е.Е., Грибановская С.В., Трушевская А.А. Анализ показателей развития отдыха в Арктике	207
Хаитова А.И., Гончарова Н.А., Ошкордина А.А. Дистанционные технологии в социальном обслуживании детей с расстройством аутистического спектра (опыт Свердловской области).....	211

УДК 519.711.3

И.Е. ЕМЕЛЬЯНОВ, А.Л. ГРИГОРЬЕВА

ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И КОНЦЕПТУАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ ПОСЕЩАЕМОСТИ ЗАНЯТИЙ СТУДЕНТАМИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Ключевые слова: автоматизация; высшее учебное заведение; идентификация; искусственный интеллект; моделирование; распознавание; студент.

Аннотация. Целью настоящей статьи является разработка концептуально-функционального подхода к построению интеллектуальной системы контроля посещаемости занятий студентами в высших учебных заведениях с использованием методов распознавания лиц на основе векторного представления изображений. В качестве гипотезы выдвигается предположение о том, что применение векторного представления лицевых изображений (эмбеддингов) и алгоритмов сравнения в евклидовом пространстве позволяет достоверно идентифицировать студентов, повысить точность фиксации посещений и минимизировать вмешательство человека в процесс контроля.

В рамках работы проанализированы существующие подходы к контролю посещаемости и выявлены их ограничения, сформулированы функциональные требования к интеллектуальной программе, разработана концептуальная архитектура и описан алгоритм распознавания на основе эмбеддингов. В результате представлено концептуальное и функциональное проектирование системы, учитывающее практические особенности внедрения в вузовскую инфраструктуру и обеспечивающее высокую точность при минимальной вычислительной нагрузке.

Введение

В последние годы проблема снижения посещаемости занятий в вузах приобрела устойчивый и системный характер. Если раньше ее воспринимали как частную дисциплинарную трудность, то сегодня становится очевидным, что речь идет о симптоме глубинного кризиса вовлеченности студентов и несовершенства организационной среды. Ключевая причина заключается в отсутствии прозрачного и объективного механизма фиксации и анализа посещаемости. В большинстве вузов до сих пор используются устаревшие формы контроля: ручная перекличка, списки, журналы, которые легко обходятся и не отражают реального положения дел [1]. Такая ситуация порождает иллюзию безнаказанности, при которой пропуски теряют вес и перестают быть дисциплинарным сигналом.

Не меньшую роль играет и технологическая неготовность самих вузов. Даже при наличии цифровых платформ такие модули, как учет посещаемости, либо не используются, либо функционируют формально [2]. Это приводит к снижению качества образовательного процесса, формализации взаимодействий и росту отчислений. В итоге вузам необходима не просто регистрация факта присутствия, а внедрение интеллектуального механизма, способного анализировать поведенческие паттерны, выявлять аномалии и предупреждать выпадение студента

Таблица 1. Результаты и сравнительный анализ

Показатель	КнАГУ	АмГПГУ	ТОГУ
Средняя посещаемость лекций (%)	84 %	76 %	71 %
Средняя посещаемость практических занятий (%)	88 %	80 %	75 %
Доля студентов, пропускающих более 30 % занятий без уважительной причины (%)	9 %	14 %	18 %
Наличие системного электронного учета посещаемости	Нет (бумажный, частично электронный)	Нет (бумажный, частично электронный)	Нет (бумажный, частично электронный)

из образовательного процесса. Только на базе интегрированной, автоматизированной и объективной системы мониторинга можно выстроить эффективную и проактивную политику вовлечения.

Результаты и обсуждение

Проблема посещаемости студентов в вузах остается одной из самых обсуждаемых и чувствительных тем в контексте качества образования. В последние годы на фоне перехода к гибридным форматам обучения, цифровизации образовательной среды и роста самостоятельности студентов вопрос «присутствия на занятии» перестал быть формальным, он стал индикатором глубины вовлеченности. В рамках данной работы проведено прикладное исследование, направленное на анализ фактической посещаемости студентов в трех университетах Дальнего Востока: КнАГУ, АмГПГУ и ТОГУ. Главной целью исследования стали выявление текущей ситуации с посещаемостью в очном обучении, а также поиск точек роста, включая предпосылки к созданию интеллектуальной системы мониторинга посещаемости, которая могла бы стать эффективным инструментом для вузов. Исследование проводилось на протяжении осеннего семестра 2024 г. В выборку вошли 300 студентов очной формы обучения с разных курсов и факультетов каждого университета. Анализ включал в себя анкетирование, наблюдение за посещаемостью, анализ преподавательских журналов, данных электронных систем, а также интервью с учебной частью. Результаты и сравнительный анализ отражены

в табл. 1.

По словам самих преподавателей, с переходом на гибридное и дистанционное обучение многие студенты стали злоупотреблять отсутствием физического контроля и, хотя учебные материалы доступны в *LMS*, посещаемость «вживую» снизилась. При этом около 18 % студентов ТОГУ на момент опроса признали, что систематически пропускали более 30 % занятий, не считая это серьезным нарушением. АмГПГУ демонстрирует средние значения: здесь активно используется электронная платформа, но при этом отсутствует единая система контроля за явкой. Преподаватели часто фиксируют посещаемость вручную, что снижает объективность данных. По ряду дисциплин, особенно в блоке педагогической практики, посещаемость падает до 65–68 %. Дальнейшим этапом исследования стало выяснение причин, по которым студенты пропускают занятия в высших учебных заведениях. Целью было не просто зафиксировать, что посещаемость оставляет желать лучшего, а понять, почему студенты сознательно делают выбор не присутствовать на парах, особенно в условиях, когда учебный процесс формально продолжается, но аудитории остаются полупустыми. Без этого понимания любое техническое решение, даже самое продвинутое, рискует оказаться мимо цели. Для этого был проведен анонимный опрос среди студентов КнАГУ, АмГПГУ и ТОГУ. В анкетировании приняли участие 452 человека: 154 из КнАГУ, 147 из АмГПГУ и 151 из ТОГУ. Участникам предлагался ключевой вопрос: «По какой причине вы чаще всего пропускаете занятия?».

Студенты могли выбрать один основной ва-

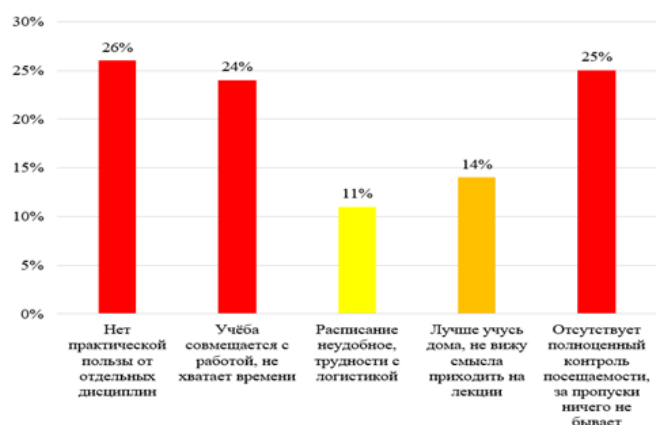


Рис. 1. Графическое распределение причин пропуска занятий

риант из предложенных.

1. Я не вижу практической пользы от части занятий.
2. У меня высокая учебная нагрузка и/или совмещение с работой.
3. У меня проблемы с расписанием, сложно добираться.
4. Мне сложно сосредоточиться в аудитории, я предпочитаю учиться самостоятельно.
5. В вузе отсутствует четкий контроль посещаемости, пропуск не несет последствий.

На рис. 1 представлено графическое распределение причин пропуска занятий студентами на примере КнАГУ. Диаграмма позволяет наглядно увидеть, какие факторы наиболее существенно влияют на посещаемость в этом вузе. Особенно отчетливо прослеживается, что лидирующими причинами являются отсутствие четкого контроля посещаемости и отсутствие мотивации к части занятий. Это визуальное представление подтверждает выводы анкетирования и подчеркивает необходимость внедрения продуманной системы мониторинга.

Становится очевидным, что два основных фактора – это ощущение бесполезности части занятий и отсутствие контроля со стороны вуза. Каждый четвертый студент (в среднем 23,7 %) прямо указал: он пропускает занятия, потому что никаких последствий за это нет. А в отдельных случаях, например, в КнАГУ доля таких ответов составила ровно четверть. Это тревожный сигнал: студенты осознают, что контроль формален или отсутствует, и воспринимают пропуски как допустимое поведение. Более того, этот фактор по значимости оказался почти наравне

с ощущением низкой практической ценности лекций 28 % в среднем. Важно отметить, что такая позиция вовсе не означает, что студенты не хотят учиться. Напротив, значительная часть ответов сопровождалась комментариями, в которых ребята писали, что посещали бы больше занятий, будь они организованы иначе или сопровождались обратной связью. Но при текущем уровне контроля и формальном подходе к фиксации явки учащиеся часто принимают решение остаться дома или пойти на подработку, потому что никаких последствий за это не наступит.

Из этих данных становится очевидным, что проблема отсутствия продуманной системы мониторинга не просто влияет на статистику, а формирует поведение. И именно эту системную уязвимость студенты чаще всего используют, чтобы регулировать собственную нагрузку. Вопрос уже не столько в дисциплине, сколько в том, что нет прозрачного, устойчивого сигнала: «твоя посещаемость важна и отслеживается». Пока этот сигнал не будет встроен в цифровую и управленческую структуру вуза, рассчитывать на существенные изменения не приходится. На этом фоне становится оправданным направление данной дипломной работы. Мы решаем не частную задачу, а актуальную и значимую для всей системы высшего образования проблему. Предполагается, что в случае реальной интеграции разработанной интеллектуальной системы учета и анализа посещаемости число систематически пропускающих студентов может снизиться на 10–15 % в течение первых двух семестров. Это даст не просто эффект в цифрах, но

Таблица 1. Выбор решения для идентификации студентов

Параметр	Распознавание лиц	Мобильные приложения	RFID/NFC
Средняя точность идентификации	97–99 %	92–95 %	89–91 %
Устойчивость к подмене личности	Высокая	Средняя	Низкая
Скорость регистрации	Очень высокая	Средняя	Очень высокая
Уровень автоматизации	Высокий	Средний	Высокий
Необходимость в действиях студента	Нет	Да	Да
Риск фиктивной отметки	Минимальный	Умеренный	Высокий

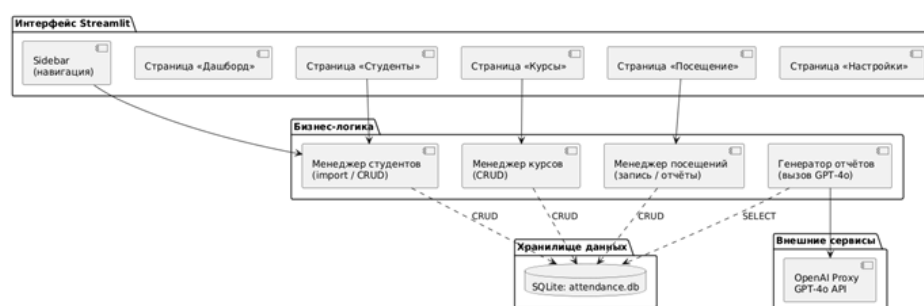


Рис. 2. Диаграмма компонентов системы

и станет шагом к формированию иной культуры учебного участия, где присутствие становится нормой, а не опцией.

При проектировании системы учета посещаемости важно выбрать метод идентификации, который обеспечивает не только точность, но и устойчивость к обходу, высокую скорость регистрации и минимальную нагрузку на участников (табл. 2). В сравнении с мобильными приложениями и *RFID/NFC*-метками технология распознавания лиц демонстрирует наилучшие результаты: она обеспечивает точность до 99 %, не требует действий от студента и исключает возможность фиктивной отметки. У *RFID*-карт и мобильных приложений есть значимые недостатки: карту можно передать другому человеку, а в приложении отметить удаленно. Это создает риск подмены и снижает достоверность данных.

Распознавание лиц, напротив, работает в фоновом режиме, не позволяет обмануть систему и обеспечивает автоматическую фиксацию

присутствия без участия преподавателя [3]. Выбор в пользу технологии распознавания лиц является наиболее обоснованным, она обеспечивает баланс между точностью, автоматизацией и устойчивостью к манипуляциям. Для создания такого решения оказалась востребованной архитектура, основанная на принципах модульности и минимизации связности между компонентами [4]. Интерфейс отдает приоритет наглядности: на дашборде выводятся метрики по числу отметок и участникам процесса, а в разделе студентов должна присутствовать форма для загрузки фотографий и добавления записей. Обработка снимков происходит после выбора файлов, а в случае отсутствия лиц или ошибок загрузки пользователю демонстрируются подробные сообщения. Архитектуру компонентов показывает рис. 2, где ясно видны границы между визуальным представлением, бизнес-логикой и репозиторием данных.

Модель данных сконструирована с учетом необходимости хранения нескольких фото на

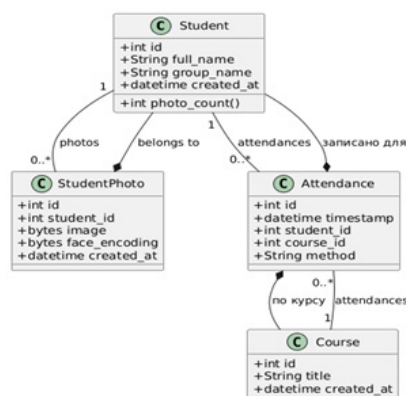


Рис. 3. Диаграмма классов

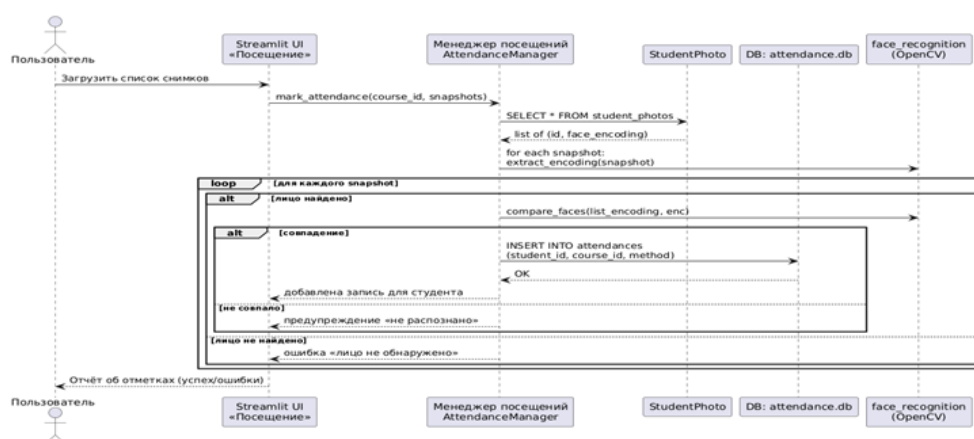


Рис. 4. Диаграмма последовательностей системы

каждого студента. Объект «студент» включает имя и принадлежность к группе, а объект фотография сохраняет сам снимок в бинарном виде и 128-мерный *embedding* лица для быстрого поиска совпадений. Структурный обзор сущностей и их связей доступен на рис. 3; именно благодаря таким отношениям один-ко-многим достигается гибкость при пополнении фотобазы и расширении аналитики посещений.

Процесс отметки присутствия по фото максимально автоматизирован. Сессия приложения извлекает из таблицы всех сохраненных эмбедингов, а затем для каждого нового снимка рассчитывает собственный *embedding* и сравнивает его со списком известных векторов. При преодолении порога сходства фиксируется новая запись в таблице посещений, снабженная меткой времени. Подробная хронология шагов представлена на рис. 4 и позволяет проследить

логику передачи данных от клиента до модуля распознавания и обратно.

Подгрузка демонстрационной выборки студентов при первом старте упрощает тестирование и позволяет сразу приступить к внесению новых данных. Сценарий автоматически ищет архив *dataset.zip* или папку *dataset/train* и наполняет базу реальными именами и фотографиями из структуры каталогов [6]. Группы формируются случайным образом из набора условных кодов, что добавляет реалистичности в демонстрационной среде. Инициализация таблиц выполняется один раз. Проверка наличия схемы запускается до старта интерфейса. В случае ее отсутствия *ORM*-слой создает таблицы и сразу импортирует пользователей. Такой прием избавляет от ручных миграций и ускоряет развертывание решения на новых машинах. Экземпляры менеджера студентов предоставляют

методы для добавления, удаления и редактирования записей, а благодаря встроенной сессии *SQLAlchemy* все операции над данными выполняются в транзакциях.

Добавление нового студента сопровождается валидацией полей формы и проверкой наличия лиц на загруженных изображениях. Преподаватель получает мгновенный отклик системы о результате распознавания, а при успешном сохранении видит обновленный список с указанием количества фото. Использование *file_uploader* в *Streamlit* позволяет оперативно обрабатывать несколько файлов в одном запросе. Страница создания курсов заточена под минимальные действия: ввод названия курса и подтверждение операции. Отметки посещений жестко привязаны к уже определенным курсам, что предотвращает ошибочное распределение по дисциплинам. На уровне интерфейса выбор курса доступен выпадающим списком, где каждая дисциплина отображается в читаемом виде. Диаграмма последовательностей подчеркивает важность обработки изображений в цикле, а также демонстрирует взаимодействие с внешней библиотекой для извлечения признаков лица. Библиотека *face_recognition* основана на *OpenCV* и *dlib*, обеспечивая стабильность работы даже при плохом освещении. Порог сравнения *embeddings* настроен таким образом, чтобы минимизировать ложные срабатывания, но при этом не пропускать знакомые лица.

Генерация отчетов с помощью *GPT-4o* происходит по нажатию кнопки на дашборде и производится через прокси-API. Сформированная *Markdown*-таблица передается модели вместе с системным сообщением, задающим роль аналитика. Ответ включается прямо в интерфейс, позволяя преподавателю получить текстовый анализ тенденций по посещаемости без отрыва от работы. Межсетевые сбои при обращении к *Proxy API* обрабатываются циклом повторных попыток. Каждый новый запрос выполняется с увеличением задержки, что повышает устойчивость к временным отказам. Наличие механизма *retry* исключает необходимость вмешательства пользователя при кратковременных сбоях

сети. Хранение фотографий и *embeddings* в бинарном виде внутри *SQLite* позволяет избежать затрат на развернутую инфраструктуру. Для небольших или учебных инсталляций такой подход демонстрирует достаточную производительность и экономию на настройке системы управления базами данных (СУБД).

При проектировании применялся принцип единственной ответственности: каждый модуль отвечает за ограниченную область задач, что уменьшает риски регресса. Слияние *UI*-кода и бизнес-логики сведено к минимуму, а логика работы с базой выведена в отдельный блок. Благодаря этому добавление новых функций требует правок преимущественно в одном месте. Привязка записей посещения к реальным меткам времени и группам дает возможность в дальнейшем расширить функциональность отчетным модулем и прогнозированием на основе машинного обучения. Добавление признаков, таких как регулярность визитов и отклонения в расписании, станет следующей ступенью развития системы.

Заключение

В данной статье представлен новый подход к решению проблемы снижения посещаемости в вузах через разработку интеллектуальной системы на основе распознавания лиц. Разработанная архитектура отличается универсальностью, высокой точностью идентификации и полной автоматизацией процесса, исключая возможность подмены или фиктивной регистрации. Система ориентирована на интеграцию с цифровыми образовательными платформами, поддерживает масштабирование и расширение аналитических функций. Полученные материалы станут основой для реализации программного прототипа, его последующего внедрения в учебную среду и развития в направлении мобильной и предиктивной аналитики. Предложенный подход позволяет не только фиксировать факт посещения, но и формировать качественно новый уровень прозрачности и управляемости учебного процесса.

Список литературы

1. Воронов, Г.Д. Цифровизация образования в современном мире / Г.Д. Воронов // Казанский вестник молодых ученых. – 2021. – № 1.
2. Жамборов, А.А. Цифровизация образования как новое требование общества / А.А. Жамбо-

ров, Р.М. Кокурхаева, Е.Х. Газдиева // Журнал прикладных исследований. – 2023. – № 4.

3. Абдуллаев, А.И. Распознавание лиц по изображению лица / А.И. Абдуллаев // Мировая наука. – 2021. – № 4(49).

4. Засыпкин, Д.С. Обзор алгоритмов распознавания лица человека в библиотеке opencv / Д.С. Засыпкин, Ю.С. Белов // E-Scio. – 2021. – № 7(58).

References

1. Voronov, G.D. Tsifrovizatsiya obrazovaniya v sovremennom mire / G.D. Voronov // Kazanskiy vestnik molodykh uchenykh. – 2021. – № 1.

2. Zhamborov, A.A. Tsifrovizatsiya obrazovaniya kak novoye trebovaniye obshchestva / A.A. Zhamborov, R.M. Kokurkhayeva, Ye.KH. Gazdiyeva // Zhurnal prikladnykh issledovaniy. – 2023. – № 4.

3. Abdullayev, A.I. Raspoznaniye lits po izobrazheniyu litsa / A.I. Abdullayev // Mirovaya nauka. – 2021. – № 4(49).

4. Zasyupkin, D.S. Obzor algoritmov opredeleniya litsa cheloveka v biblioteke opencv / D.S. Zasyupkin, YU.S. Belov // Elektronnaya nauka. – 2021. – № 7(58).

© И.Е. Емельянов, А.Л. Григорьева, 2025

УДК 519.711.3

И.Е. ЕМЕЛЬЯНОВ, А.Л. ГРИГОРЬЕВА
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный
университет», г. Комсомольск-на-Амуре

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ ПОСЕЩАЕМОСТИ ЗАНЯТИЙ СТУДЕНТАМИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Ключевые слова: автоматизация; высшее учебное заведение; идентификация; искусственный интеллект; моделирование; распознавание; сканирование лица; студент.

Аннотация. В статье представлена разработка интеллектуальной системы контроля посещаемости занятий студентами в высших учебных заведениях с использованием технологий компьютерного зрения и алгоритмов машинного обучения. Описана математическая модель алгоритма идентификации личности по изображению, включая формализацию процедуры извлечения признаков и правила сравнения эмбедингов. Приведена алгоритмическая интерпретация функционирования системы, охватывающая этапы загрузки данных, обработки изображений, сравнения векторов признаков и фиксации посещений. Реализована программная система на языке *Python* с использованием библиотеки *face_recognition*, фреймворка *Streamlit* и системы управления базами данных (СУБД) *SQLite*. Проведено тестирование, результаты которого подтверждают высокую точность распознавания и устойчивость системы к ошибкам и подмене. Полученные данные демонстрируют практическую применимость предложенного решения в образовательной среде и служат основой для дальнейшего масштабирования и интеграции с цифровыми платформами вузов.

учебных заведениях остается одной из ключевых задач, напрямую влияющих на дисциплину, успеваемость и академическую вовлеченность студентов. Несмотря на распространенность цифровых образовательных платформ, в большинстве вузов учет посещаемости до сих пор осуществляется вручную или с использованием формальных решений, не исключающих возможность обхода и подмены. Это снижает достоверность данных, ограничивает возможности преподавателя в анализе активности студентов и не позволяет оперативно выявлять признаки выпадения из образовательного процесса [1].

Актуальность разработки интеллектуальной системы автоматизированного контроля посещаемости обусловлена необходимостью перехода от формального учета к объективному и непрерывному мониторингу, основанному на современных технологиях распознавания лиц и анализа изображений. Такие системы позволяют полностью исключить участие студента в процессе регистрации, свести к минимуму ошибки и предоставить преподавателю или администрации достоверную информацию о присутствии студентов на занятиях в режиме реального времени.

Также использование алгоритмов машинного обучения и методов обработки эмбедингов дает возможность не только точно идентифицировать студентов, но и интегрировать систему в существующие цифровые среды вуза, расширяя ее функциональность за счет аналитики и прогнозирования учебной активности [2]. В рамках данной статьи будет разработана математическая модель алгоритма распознавания лиц для учета посещаемости, а также реализован про-

Введение

Контроль посещаемости занятий в высших

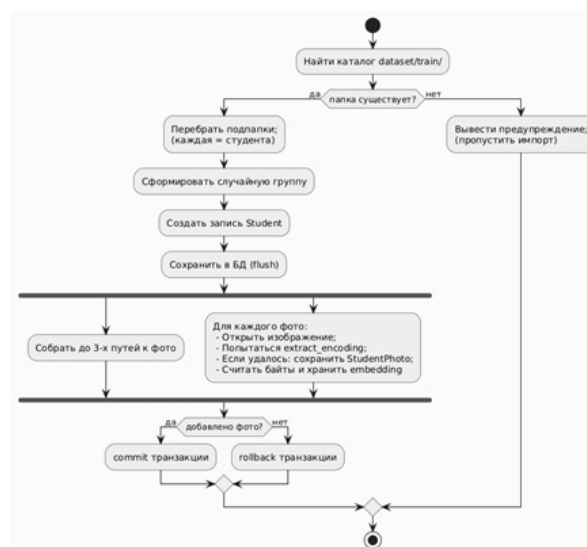


Рис. 1. Алгоритм импорта студентов

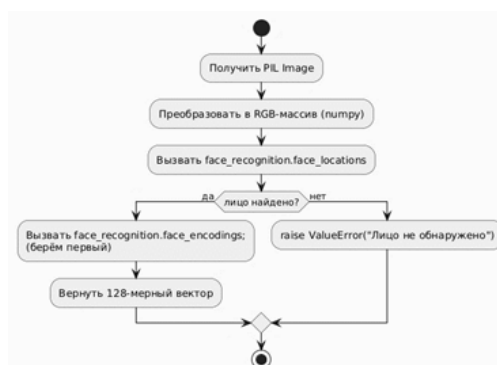


Рис. 2. Алгоритм извлечения эмбединга лица

граммный прототип и представлены результаты его тестирования. Полученные данные подтвердят эффективность и практическую применимость предложенного подхода.

Результаты и обсуждение

Алгоритмы интеллектуальной обработки данных в системе построены на последовательной автоматизации этапов импорта студентов, извлечения признаков лица и фиксации посещаемости по фотографиям. На первом этапе реализован алгоритм массового импорта студентов (рис. 1), в котором система обнаруживает каталог с изображениями, обходит подпапки (каждая соответствует одному студенту), присваивает группу и сохраняет базовую запись.

Извлечение признаков реализовано через алгоритм получения вектора эмбединга (рис. 2). Загруженное изображение обрабатывается с помощью библиотеки *PIL* и преобразуется в трехканальный массив. Если координаты лица определены, вычисляется 128-мерный вектор, иначе инициируется исключение с уведомлением пользователя о проблеме качества изображения. Процесс автоматической отметки посещения представлен на рис. 3. Пользователь выбирает курс, после чего система загружает все эталонные эмбединги из базы *student_photos*.

Реализованная архитектура легко масштабируется: база *student_photos* может быть перенесена на отдельный сервер, а модуль *embeddings* вынесен в микросервис на *Flask*

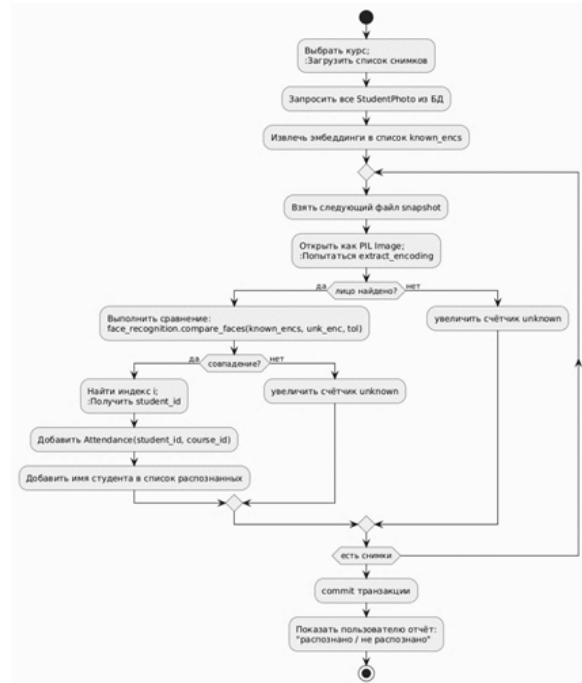


Рис. 3. Алгоритм отметки посещения по фото

или *FastAPI* [3]. Благодаря универсальности решений возможна замена используемой модели на более современную (например, *CNN*) без изменений в логике, а также поддержка ускорителей типа *TensorRT* или *ONNX* [4]. Серверная обработка изображений делает возможной дальнейшую адаптацию системы к мобильным клиентам. В основе алгоритма лежит представление каждого изображения лица в виде векторного пространства признаков размерности $d = 128$, получаемого с помощью модели *face_recognition*. Пусть:

$$\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^d \ (i = 1, \dots, N)$$

обозначает эмбединги i -ой эталонной фотографии, сохраненный в базе, а

$$\mathbf{y}_j \in \mathbb{R}^d \ (j = 1, \dots, M)$$

соответствует эмбедингу j -го загруженного снимка при отметке посещения. Вычисление расстояния между двумя векторами происходит по формуле косинусного сходства, переопределенного как мера различия:

$$D(\mathbf{y}, \mathbf{x}) = 1 - \frac{\mathbf{y}^T \mathbf{x}}{\|\mathbf{y}\| \|\mathbf{x}\|},$$

где

$$\|\mathbf{v}\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d v_k^2}$$

есть евклидова норма вектора $\mathbf{V}$.

Для каждого j -го снимка определяется индекс ближайшего эталона:

$$i^*(j) = \arg \min_{1 \leq i \leq N} D(\mathbf{y}_j, \mathbf{x}_i).$$

Далее вычисляется минимальное расстояние:

$$\Delta_j = D(\mathbf{y}_j, \mathbf{x}_{i^*(j)}).$$

Пороговое правило распознавания задается константой τ : если $\Delta_j \leq \tau$, то совпадение найдено (метод *FACE*), иначе – отсутствие совпадения. Для фиксации посещения студента s , которому принадлежит эталон $i^*(j)$, применяется индикаторная функция:

$$\delta_j(s) =$$

$$\begin{cases} 1, & \text{если } i^*(j) \text{ соответствует студенту } s \wedge \Delta_j \leq \tau, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

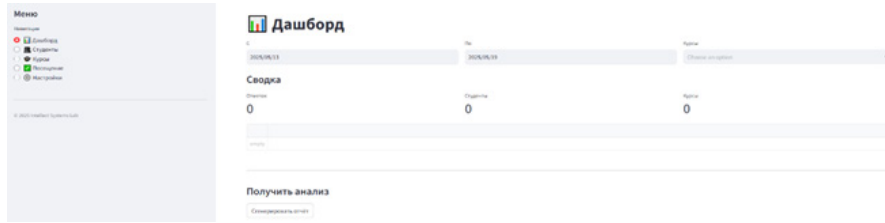


Рис. 4. Интерфейс дашборда приложения



Рис. 5. Экран регистрации нового студента

Общая формула подсчета отметок для студента s на одном сеансе обработки M снимков принимает вид:

$$A_s = \sum_{j=1}^M \delta_j(s).$$

Полагая, что количество снимков M и порог τ остаются постоянными, вероятность верного распознавания студента s оценивается как:

$$P_s = \mathbb{E}[\delta_j(s)] = 1 - F_s(\tau),$$

где F_s – эмпирическая функция распределения расстояний $D(y_j, x_i)$ для данного студента.

Для оценки качества системы вводится метрика точности распознавания:

$$\text{Acc} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \frac{A_s}{M_s},$$

в которой S – общее число студентов; M_s – количество снимков, относящихся к студенту s в тестовом наборе.

Наконец, конфигурация порога τ выбирается из условия максимизации F -меры при сопоставлении с валидационной выборкой:

$$\tau^* = \arg \max_{\tau} \frac{2\text{Precision}(\tau)\text{Recall}(\tau)}{\text{Precision}(\tau) + \text{Recall}(\tau)}.$$

Введенные формулы позволяют формализовать процедуру сопоставления лиц как задачу ближайшего соседа в d -мерном пространстве, дополняя ее пороговым отбором и статистической оценкой качества [5]. Развертывание системы начинается с запуска главного скрипта, после чего открывается окно браузера с боковой панелью и первым экраном дашборда (рис. 4). В верхней части интерфейса появляются поля для выбора периодов и списков дисциплин, а ниже – сводные метрики по количеству отметок, студентов и курсов. Динамическая таблица под ними обновляется при изменении фильтров и служит отправной точкой для последующего анализа.

Переход на вкладку «Студенты» открывает форму ввода нового профиля: два текстовых поля для ФИО и группы и элемент *drag-and-drop* для загрузки до трех изображений (рис. 5). Специальная подсветка полей в случае некорректного заполнения помогает обнаружить пропуски до отправки данных. Встроенная валидация проверяет не только наличие текста, но и успешное извлечение эмбединга лица с каждого снимка.

После сохранения нового профиля появляется вкладка «Список», где аккуратно выстроены столбцы с идентификаторами, наименованиями, принадлежностью к группам и датой создания записи (рис. 6). Поле поиска реагирует

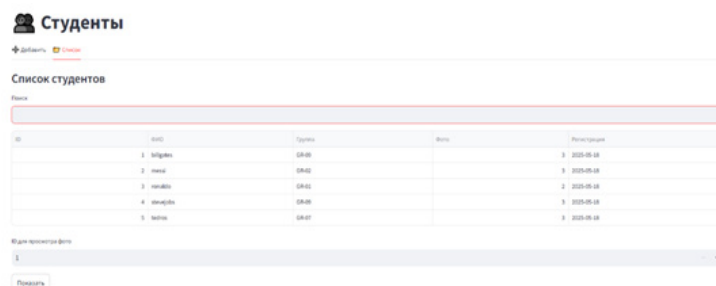


Рис. 6. Страница списка студентов с возможностью поиска

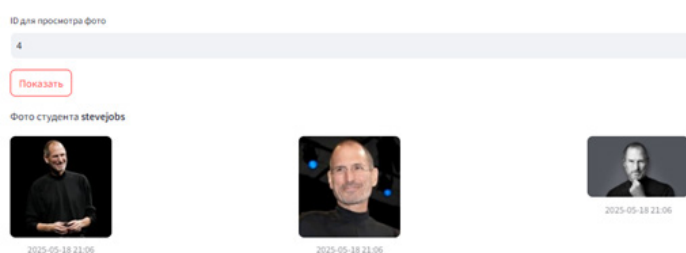


Рис. 7. Просмотр фотографий студента в галерее

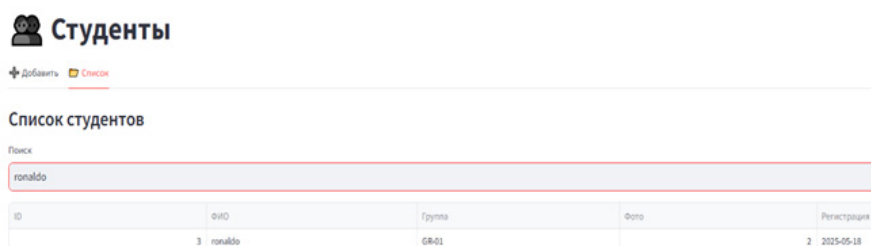


Рис. 8. Фильтрация списка студентов по запросу

на ввод в реальном времени, оставляя в таблице только совпадения по ФИО. Даже при большом объеме записей интерфейс остается отзывчивым благодаря оптимизированным запросам к базе *SQLite*.

Ниже в списке отображается элемент управления просмотром фотографий: выбор *ID* студента и кнопка для загрузки галереи. После нажатия отрисовываются все изображения, прикрепленные к профилю, с подписью даты и времени их добавления (рис. 7). Такой прием упрощает верификацию корректности эмбеддингов и дает наглядный обзор фотобазы.

Для демонстрации фильтрации и сортировки таблицы используется пример, где поиск по студенту (здесь «*ronaldo*») выводит единствен-

ную строку с профилем и статистикой снимков (рис. 8). Интерфейс сохраняет позицию ввода при переключении между вкладками, что обеспечивает удобство при параллельной работе с разными дисциплинами.

Глубокое тестирование функций распознавания началось с проверки блока отметки посещения. В разделе «Посещение» предусмотрен выбор дисциплины из выпадающего списка и загрузка одного или нескольких снимков [8]. После обработки система отображает сообщение вида «Записано: 1 | Не распознано: 1» и помечает распознанные профили галочкой (рис. 9).

Возвращение на дашборд с фильтрацией по курсу «*Algorithms*» иллюстрирует, как изменя-

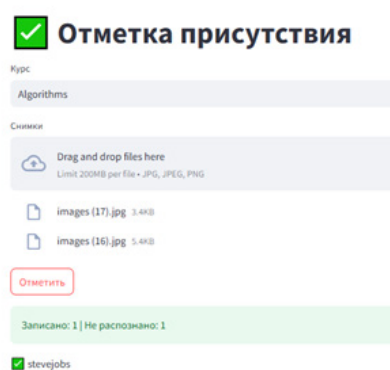


Рис. 9. Экран отметки посещения с результатами распознавания

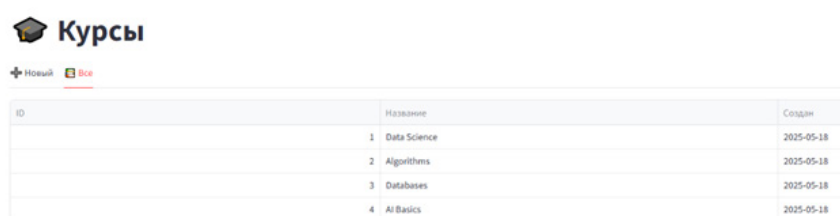


Рис. 10. Дашборд с фильтром по отдельному курсу

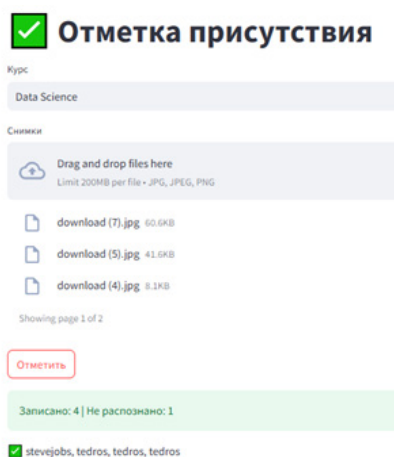


Рис. 11. Обработка нескольких снимков и отображение статистики

ется сводка и какая запись появляется в табличном отчете (рис. 10). В представленных данных видно, что студент из группы GR-09 зафиксировал один визит в указанный период.

При загрузке трех разных изображений интерфейс автоматически выясняет, какие из них соответствуют эталонам, и выводит счетчики «Записано: 4 | Не распознано: 1». На

примере из рис. 11 видно, как несколько снимков одного студента учитываются как множественные отметки, что позволяет анализировать динамику визитов в рамках одного занятия.

Повторный заход на дашборд с курсом «Data Science» демонстрирует накопительный эффект: четыре отметки двух разных студен-

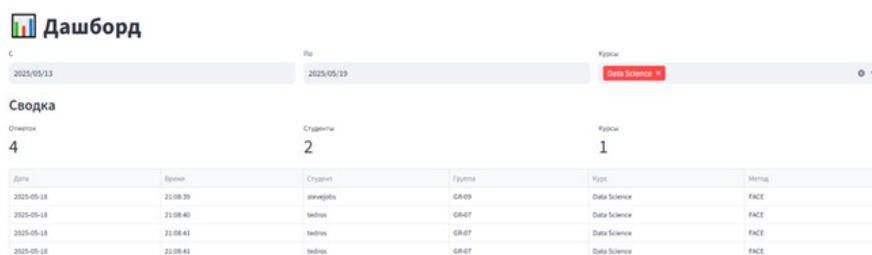


Рис. 12. Дашборд с результатами пакетной отметки посещений



Рис. 13. Фрагмент отчета, сформированного через GPT-4o

тов из групп GR-09 и GR-07, зафиксированные в течение нескольких секунд (рис. 12). Любопытно наблюдать одинаковые отметки подряд для одного и того же профиля – признак работы пакетного режима обработки. Часть отчета, сгенерированного GPT-4o, добавляется под таблицей дашборда (рис. 13). Модель автоматически формирует текст на русском языке, отмечая активность студентов, указывая на возможные аномалии и предлагая рекомендации по улучшению посещаемости. Такой модуль аналитики расширяет функциональность системы и предоставляет преподавателям ценные инсайты.

Каждый из экранов проверялся на корректность отображения в актуальных версиях браузеров Chrome и Firefox. Валидация front-end логики прошла с помощью Selenium-скриптов, а нагрузочное тестирование API – с использованием Apache JMeter. Общая архитектура подтвердила свою устойчивость к отказам и быстродействие, оставаясь понятной и удобной для конечного пользователя.

Заключение

Законченный цикл разработки и отладки

модуля интеллектуальной обработки данных продемонстрировал его готовность к реальным нагрузкам и совместимость с учебными процессами. При реализации интерфейсных компонентов удалось достичь интуитивной понятности для преподавателя и минимизировать требования к обучению пользователей. Предложенный механизм хранения нескольких фотографий на каждого студента и эффективный алгоритм пакетного распознавания обеспечили надежность работы в условиях разнообразных кадровых наборов и времени суток. Валидация транзакций и откат при ошибках предотвратили появление неконсистентных записей, демонстрируя зрелость архитектуры уровня бизнес-логики. Интеграция анализа через GPT-4o расширила возможности дашборда, давая преподавателю не только сырые цифры, но и текстовые выводы об активности группы. Комплексное тестирование производительности и нагрузочное моделирование подтвердили, что даже при увеличении базы до тысячи профилей время отклика остается в пределах приемлемых значений. В результате итоговая версия модуля полностью отвечает заявленным требованиям надежности, расширяемости и удобства эксплуатации в вузовской среде.

Список литературы

1. Исаев, А.Л. Распознавание лиц по изображениям / А.Л. Исаев, Д.А. Газаров, С.Д. Евсеев // Символ науки. – 2017. – № 4.

2. Олигова, М.М. Система распознавания лиц. face-интеллект / М.М. Олигова, А.М. Олигов // Форум молодых ученых. – 2016. – № 4.
3. Салех, Л.А. Методы распознавания лиц на основе анализа видеоизображений / Л.А. Салех, С.В. Хлопин // SAEC. – 2023. – № 2.
4. Mamun, M.A. Exploration of learner-content interactions and learning approaches: The role of guided inquiry in the self-directed online environments / M.A. Mamun, G. Lawrie, T. Wright // Computers & Education. – 2022. – Vol. 178. – Article 104398.
5. Ромахов, К.Д. Применение методов компьютерного зрения и нейронной сети для обнаружения лиц на изображении / К.Д. Ромахов // Вестник магистратуры. – 2019. – № 11-2(98).

References

1. Isayev, A.L. Raspoznaniye lits po izobrazheniyam / A.L. Isayev, D.A. Gazarov, S.D. Yevseyev // Simvol nauki. – 2017. – № 4.
2. Oligova, M.M. Sistema poiska lits. litso-intellekt / M.M. Oligova, A.M. Oligov // Forum molodykh uchenykh. – 2016. – № 4.
3. Salekh, L.A. Metody sozdaniya lits na osnove analiza videoizobrazheniy / L.A. Salekh, S.V. Khlopin // GAEK. – 2023. – № 2.
5. Romakhov, K.D. Primeneniye komp'yuternykh metodov issledovaniya i neyronnoy seti dlya obnaruzheniya lits na izobrazhenii / K.D. Romakhov // Vestnik magistratury. – 2019. – № 11-2(98).

© И.Е. Емельянов, А.Л. Григорьева, 2025

УДК 004.91

Ю.А. ЖАРИНОВ¹, Б.В. БЕЛЯЕВ², А.И. АБДРАХМАНОВА¹

¹Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;

²ООО «Газпром нефтехим Салават», г. Салават

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ОТЧЕТОВ ПО ВЫПОЛНЕННЫМ ЗАЯВКАМ

Ключевые слова: безопасность; загазованность; система; электроустановка.

Аннотация. Актуальность: увеличение объемов ИТ-обращений и возрастание требований к оперативному контролю выполнения заявок обуславливают необходимость автоматизации процессов формирования отчетности. Ручное составление отчетов приводит к значительным временным затратам, увеличению риска ошибок и снижению качества принимаемых решений. Разработка специализированных программных средств для автоматизации формирования отчетов становится важным условием повышения эффективности работы служб технической поддержки.

Целью работы являются сокращение временных затрат и минимизация количества ошибок при составлении отчетности за счет разработки программного приложения.

Были использованы следующие методы: обзор научной литературы, анализ существующих методов составления отчетности.

Результатом выполнения работы являются обоснование необходимости использования и последующая разработка программного приложения для составления отчетов по выполненным заявкам.

В процессе разработки использовались язык программирования *Python*, фреймворк *Flask*, система управления базами данных *PostgreSQL* и среда разработки *GigaIDE*.

Разработанное программное приложение позволяет визуализировать ключевые показатели и формировать отчеты с возможностью выбора необходимых параметров, что автоматизирует процесс подготовки отчетности для контроля выполнения заявок и анализа эффективности работы службы поддержки.

В настоящее время информационные технологии стали неотъемлемой частью функционирования предприятий [1]. Поддержка ИТ-инфраструктуры осуществляется на основании заявок. При столкновении с проблемами в области информационных технологий работники структурных подразделений формируют обращения, которые регистрируются в автоматизированной системе управления заявками и передаются в службы технической поддержки.

Одной из важных задач в процессе оказания ИТ-услуг является обеспечение качества выполнения заявок. Для наглядного представления приведен процесс «Оказание ИТ-услуг» в нотации *IDEF0* (рис. 1) [2–4]. Функциональный блок «Составление отчета по выполненным заявкам» направлен на контроль качества выполнения заявок, анализ эффективности работы службы поддержки и принятие управленческих решений при выявлении проблемных мест.

Составление отчетов осуществляется рабочей группой вручную с использованием электронных таблиц. Такой подход приводит к значительным временным затратам и увеличивает количество ошибок и неточностей. Решением данной проблемы является разработка программного приложения составления отчетов по выполненным заявкам.

Разработка приложения осуществлялась с использованием языка программирования *Python* и фреймворка *Flask* в среде разработки *GigaIDE*. Одним из определяющих факторов выбора языка программирования *Python* стало наличие высокоэффективных библиотек для обработки и визуализации данных. Данные о заявках хранятся в системе управления базами данных *PostgreSQL*.

Программное приложение имеет кли-

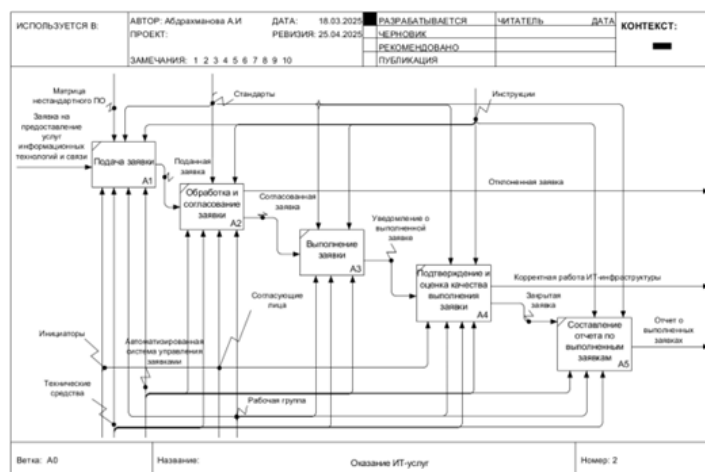


Рис. 1. Декомпозиция процесса «Оказание ИТ-услуг» в нотации IDEF0

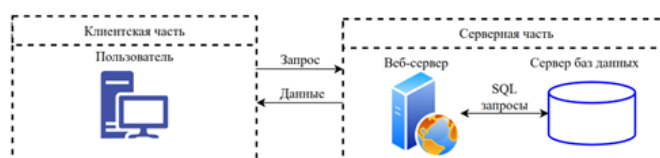


Рис. 2. Архитектура программного приложения

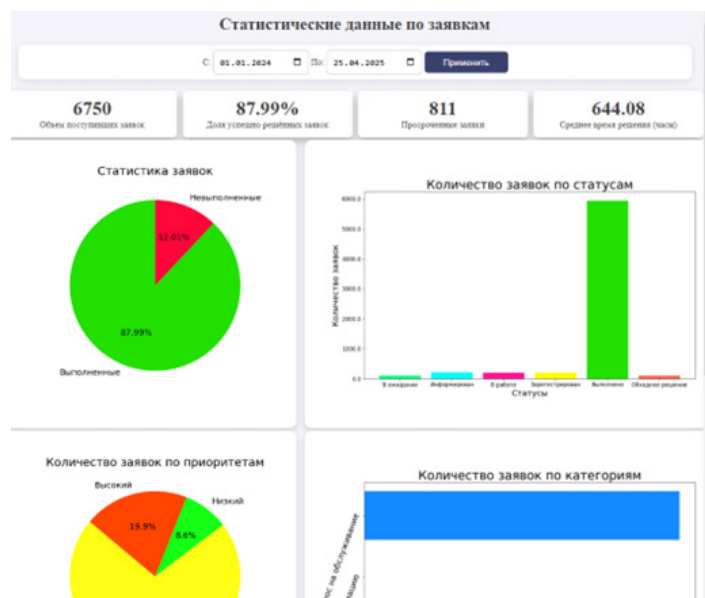


Рис. 3. Статистические данные по заявкам

ент-серверную архитектуру и функционально делится на клиентскую и серверную части (рис. 2). Клиентская часть отвечает за формирование запросов и отображение данных пользо-

вателю, а серверная часть взаимодействует с базой данных и возвращает результат клиенту [7].

Функционально приложение включает две страницы: «Статистика» (визуализация ключе-

Составление отчета

Период с: Период до: Исполнитель: Статус: Категория:

Период с: Период до: Приоритет: Сервис: Инициатор:

Отчет сформирован по:

Исполнитель: Иванов Иван
Статус: Выполнено
Приоритет: Высокий

Отчет

№	Инициатор	Заголовок	Статус	Исполнитель	Категория	Приоритет	Сервис	Инициатор	Время регистрации	Время решения	Время отзыва
1	ИВАНОВ ИВАН	Заголовок	Выполнено	Иванов Иван	Запрос на обслуживание	Высокий	Исполнение в ACS_20	Федорова Елена	2024-12-18 13:40:18	2024-12-18 13:28:43	2024-12-17 14:00:43
2	ИВАНОВ ИВАН	Решение обслуживания ACS_2001, работа №13	Выполнено	Иванов Иван	Запрос на обслуживание	Высокий	Исполнение в ACS_20	Григорьев Валентин	2024-12-03 12:20:10	2024-12-03 14:08:00	2024-12-04 12:38:00
3	ИВАНОВ ИВАН	Запрос на предоставление/списание лицензий в ИС РТ Клиент	Выполнено	Иванов Иван	Запрос на обслуживание	Высокий	ITP ACS_2001	Петрова Анна	2024-11-29 04:31:28	2024-12-29 09:00:00	2024-12-29 12:30:00

Рис. 4. Составление отчета с выбором необходимых параметров

вых показателей) и «Отчет» (формирование отчетов с выбором необходимых параметров) [8].

На странице «Статистика» отображаются ключевые показатели: общее количество поступивших заявок, доля успешно решенных заявок, количество просроченных заявок и среднее время их выполнения. Визуализация данных реализована при помощи библиотек *Plotly* и *Matplotlib*, которые позволяют строить диаграммы различного типа [9]. На странице «Статистика» отображаются доля выполненных и невыполненных заявок, распределение заявок по статусам, приоритетам и категориям. Для анализа эффективности работы службы поддержки строится диаграмма с рейтингом исполнителей по количеству решенных заявок.

Для просмотра статистических данных по заявкам необходимо выбрать период для анализа и нажать на кнопку «Применить», в результате чего на странице формируются ключевые показатели и соответствующие графические представления (рис. 3).

Программное приложение позволяет составлять отчет с детализированной выборкой

данных. Библиотека *Pandas* обрабатывает *SQL*-запросы с учетом фильтров, заданных пользователем на интерфейсе. В процессе формирования отчета фильтрация осуществляется на основании временного периода, исполнителя, статуса заявки, категории, приоритета, сервиса и инициатора. При необходимости составленный отчет может быть экспортирован в форматы *.xlsx* и *.pdf* [10].

Для составления отчета необходимо выбрать нужные параметры и нажать на «Сформировать отчет». На рис. 4 представлен пример отчета, сформированного по следующим условиям: исполнитель – Иванов Иван, статус – выполнено, приоритет – высокий.

Выводы: обоснована целесообразность разработки программного приложения составления отчетов по выполненным заявкам. Программное решение позволяет существенно сократить трудозатраты, снизить вероятность ошибок, повысить оперативность анализа данных и улучшить качество управленческих решений в рамках процесса оказания ИТ-услуг.

Список литературы

1. Пошибаев, А.Ю. Влияние цифровых технологий на эффективность деятельности организации / А.Ю. Пошибаев // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://esj.today/PDF/51FAVN524.pdf>.
2. Гальтяев, А.В. Обработка заявок в Service Desk / А.В. Гальтяев, А.И. Абдрахманова // Интеллектуальные технологии и инновационные подходы в нефтепереработке и нефтехимии. – 2024. – С. 80–82.
3. Любарев, В.В. Обработка заявок в IT Service Desk / В.В. Любарев // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей. – 2023. – № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-zayavok-v-it-service-desk/viewer>.

4. Каменнова, М.С. Моделирование бизнес-процессов: учебник и практикум для вузов / М.С. Каменнова, В.В. Крохин, И.В. Машков. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 534 с.
5. Бурцева, Е.В. Базы данных: учебное пособие / Е.В. Бурцева, И.П. Рак, А.В. Платенкин. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 81 с.
6. Нестеров, С.А. Базы данных: учебник и практикум для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / С.А. Нестеров. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 258 с.
7. Суханов, В.И. Разработка веб-приложений на платформе Spring: учебно-методическое пособие / В.И. Суханов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. – 180 с.
8. Полуэктова, Н.Р. Разработка веб-приложений: учебник для вузов. 2-е изд. / Н.Р. Полуэктова. – М. : Издательство Юрайт, 2025. – 204 с.
9. Plotting with Python: Matplotlib, Seaborn, and Plotly [Electronic resource]. – Access mode : <https://python.howtos.io/plotting-with-python-matplotlib-seaborn-and-plotly>.
10. McKinney, W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython / W. McKinney. – 3rd ed. – O'Reilly Media [Electronic resource]. – Access mode : <https://statistics Globe.com/matplotlib-vs-plotly-python>.

References

1. Poshibayev, A.YU. tsifrovyye tekhnologii po effektivnosti deyatelnosti organizatsii / Issledovaniye A.YU. Poshibayev // Vestnik yevreyskoy nauki. – 2024. – T. 16. – № 5 [Electronic resource]. – Access mode : <https://esj.today/PDF/51FAVN524.pdf>.
2. Gal'tyayev, A.V. Obrabotka zayavok v Service Desk / A.V. Gal'tyayev, A.I. Abdrakhmanova // Intellektual'nyye tekhnologii i innovatsionnyye podkhody v neftepererabotke i neftekhimii. – 2024. – S. 80–82.
3. Lyubarets, V.V. Obrabotka zayavok v IT Service Desk / V.V. Lyubarets // Nauchno-obrazovatel'nyy zhurnal dlya studentov i prepodavateley. – 2023. – № 5 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-zayavok-v-it-service-desk/viewer>.
4. Kamennova, M.S. Modelirovaniye biznes-protsessov: uchebnik i praktiki dlya vuzov / M.S. Kamennova, V.V. Krokhin, I.V. Mashkov. – Moskva: Izdatel'stvo Yurayt, 2025. – 534 s.
5. Burtseva, Ye.V. Bazy dannykh: uchebnoye posobiye / Ye.V. Burtseva, I.P. Rak, A.V. Platenkin. – Tambov : Izdatel'skiy tsentr FGBOU VO «TGTU», 2023. – 81 s.
6. Nesterov, S.A. Bazy dannykh: uchebnik i praktiki dlya vuzov. 2-ye izd., pererab. i dop. / S.A. Nesterov. – Moskva: Izdatel'stvo Yurayt, 2024. – 258 s.
7. Sukhanov, V.I. Razrabotka veb-prilozheniy na platforme Spring: uchebno-metodicheskoye posobiye / V.I. Sukhanov. – Yekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2023. – 180 s.
8. Poluektova, N.R. Razrabotka veb-prilozheniy: uchebnik dlya vuzov. 2-ye izd. / N.R. Poluektova. – M. : Izdatel'stvo Yurayt, 2025. – 204 s.

© Ю.А. Жаринов, Б.В. Беляев, А.И. Абдрахманова, 2025

УДК 004.942

Р.А. КАЮМОВ, И.В. ГРИШИН

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТЕРЖНЕЙ СИММЕТРИЧНОГО ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ СТЕСНЕННОМ КРУЧЕНИИ

Ключевые слова: стесненное кручение; теория Власова; тонкостенные стержни; численные методы.

Аннотация. Целью статьи является разработка инженерного подхода к определению напряженно-деформированного состояния тонкостенных стержней открытого профиля при стесненном кручении. Для этого были решены следующие задачи: проведено описание состояния проблемы, приняты гипотезы о видах деформирования элементов тонкостенных стержней, предложен упрощенный метод решения задачи определения перемещений и напряжений, проведена верификация метода. Метод изложен на примере расчета двутавра. Основная гипотеза состоит в том, что для решения проблемы могут быть использованы только простые решения задач изгиба и кручения балок. Суть метода состоит в формулировке аналога метода конечных элементов, в котором используются пластинчатые элементы (полки и стенки), из которых составлен двутавр. Стыковка перемещений проводится или только в одной точке, или в ряде точек по длине стержня. Для верификации предложенного подхода проведены сравнения результатов, полученных этим методом, с решениями, найденными согласно теории стесненного кручения, разработанной В.З. Власовым, а также полученных методом конечных элементов в пакете *ANSYS*. Анализ результатов расчетов показал, что предлагаемый подход сочетает в себе простоту метода и хорошую точность определения напряжений.

чения являются частным случаем так называемых «тонкостенных», характерные параметры которых – толщина оболочки δ , диаметр оболочки d и длина l – находятся в следующих соотношениях: $\delta \ll d$ и $d \ll l$, где $\ll$ означает существенно меньше (согласно В.З. Власову более чем в десять раз). Важной особенностью таких стержней является возникновение дополнительных нормальных напряжений, вызванных их кручением в стесненных условиях или при воздействии переменных крутящих моментов. Наиболее полно и одним из первых теорию изгиба тонкостенных стержней разработал В.З. Власов [1], однако он рассматривал стержни открытого профиля. Теорию изгиба стержней замкнутого профиля, изложенную, например, в источнике [2], разработал А.А. Уманский. Данные методы применялись, например, к расчету металлических мостов О.В. Лужином [3] в 1958 г., однако применяются и сейчас при оптимизации сечений холодногнутых тонкостенных профилей [5].

Разработанные теории [1; 2] предполагают определение бимоента, что нашло отражение в нормах на проектирование стальных конструкций [4], а также секториальных характеристик поперечного сечения, что затрудняет ее применение при эскизном проектировании в инженерной практике. В связи с этим возникает необходимость разработки упрощенной методики, позволяющей методами сопротивления материалов оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) тонкостенных стержней.

Материалы и методы

В рамках данной статьи предлагаемая методика рассматривается на примере прокатного профиля симметричного двутаврового равнополочного сечения, выполненного из стали с мо-

Введение

Стержни симметричного двутаврового се-

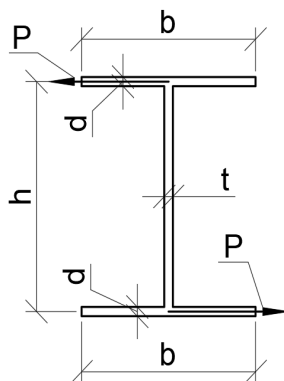


Рис. 1. Геометрические параметры поперечного сечения

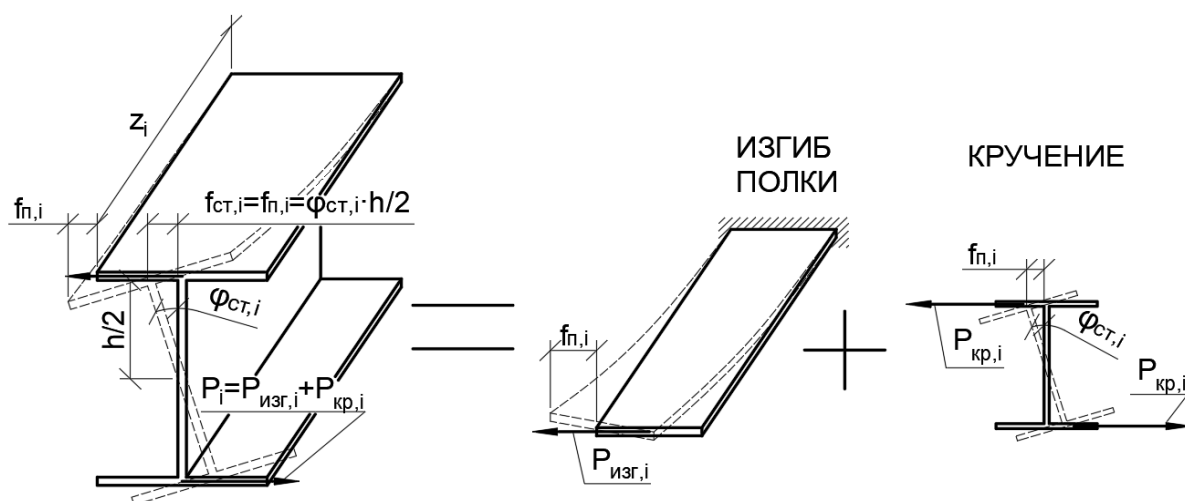


Рис. 2. Условие совместности деформаций полки и стенки

дулем деформации $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па и модулем сдвига $G = 7,96 \cdot 10^{10}$ Па с геометрическими параметрами поперечного сечения, показанными на рис. 1, где P_i – сила, приложенная к полкам, вызывающая крутящий момент $M_i = P_i \cdot h/2$. Длину стержня будем обозначать как l . Индекс i обозначает номер рассматриваемого поперечного стержня с координатой вдоль его продольной оси z_i .

Методика основывается на следующих гипотезах:

- при кручении двутавра полки претерпевают кручение и изгиб, а стенка претерпевает только кручение;

- часть силы P_i , обозначаемая как $P_{изг,i}$, уходит на изгиб полки (изгиб), а часть, обозначаемая как $P_{кр,i}$, уходит на кручение всего сечения:

$$P_i = P_{изг,i} + P_{кр,i} \quad (1)$$

– при закручивании всего сечения на угол $\varphi_{ст,i}$ от воздействия пары сил $P_{кр,i}$ полка в точке контакта со стенкой перемещается от воздействия силы $P_{изг,i}$ на величину $f_{п,i}$.

Данные гипотезы проиллюстрированы на рис. 2, из которого можно видеть, что величины $\varphi_{ст,i}$ и $f_{п,i}$ удовлетворяют следующему уравнению, описывающему условие совместности деформаций полки и стенки:

$$f_{п,i} = \varphi_{ст,i} \cdot h/2. \quad (2)$$

Требование, по удовлетворению уравнению (2), может назначаться в общем случае для произвольного количества точек (в дальнейшем будем называть их точками коллокаций и обо-

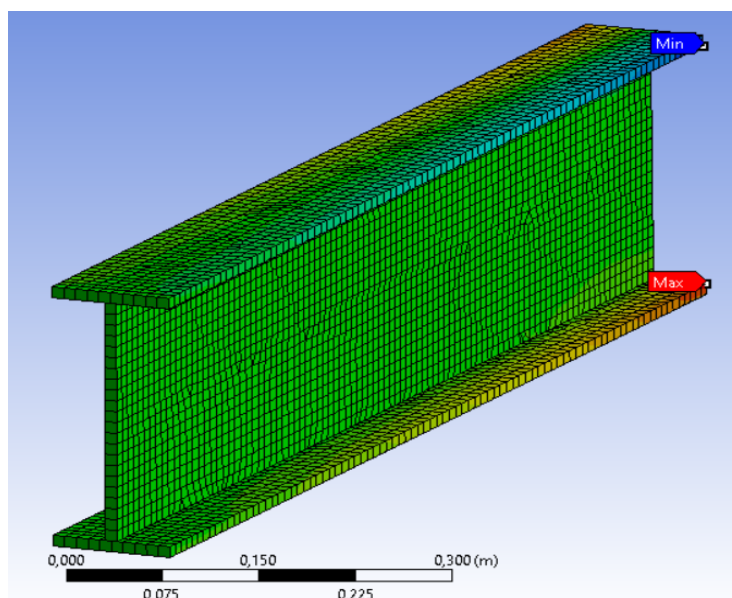


Рис. 3. Пример сетки конечных элементов

значать их количество как n), расположенных вдоль рассматриваемого стержня и имеющих координату z_i для i -ой точки. Для каждого рассматриваемого вида профиля и условия нагружения n и z_i необходимо уточнять отдельно по методике, описанной ниже. В самом простом случае, при $n = 1$, следует принимать $z_i = l$.

Величина $f_{п, i}$ может быть найдена как прогиб балки с сечением, соответствующим полке рассматриваемого двутавра, от воздействия силы $P_{изг, i}$ из следующего уравнения:

$$f_{п, i} = \frac{P_{изг, i} \cdot z_i^3}{3 \cdot E \cdot J_{п}}, \quad (3)$$

где $J_{п} = \frac{b^3 \cdot t}{12}$ – момент инерции полки.

Величину $\varphi_{ст, i}$ можно приближенно оценить из уравнения угла закручивания свободного тонкостенного стержня, а именно:

$$\varphi_{ст, i} = \frac{P_{кр, i} \cdot h \cdot l}{G \cdot J_d}, \quad (4)$$

где $J_d = \frac{h \cdot t^3}{3} + 2 \frac{b \cdot d^3}{3}$ – момент сопротивления при кручении.

Подставляя уравнения (3) и (4) в (2), можно получить зависимость $P_{изг, i}$ от P_i :

$$P_{изг, i} = \frac{3 \cdot P_i \cdot J_{п} \cdot E \cdot h^2}{3 \cdot E \cdot J_{п} \cdot h^2 + 3 \cdot G \cdot J_d \cdot L \cdot z - G \cdot J_d \cdot z^2} \quad (5)$$

Далее, рассматривая полку как балку, подвергающуюся изгибу от воздействия силы $P_{изг, i}$, можно найти напряжения, возникающие в месте заделки стержня от кручения.

Полученные с помощью вышеописанного метода напряжения в полке сравнивались с результатами расчета в программном комплексе *ANSYS Workbench*, где тонкостенный стержень моделировался с помощью конечного элемента *SHELL181* (рис. 3).

Результаты

Были приняты следующие значения геометрических параметров $h = 20$ см, $b = 10$ см, $t = d = 0,5$ см. Величина крутящей силы P_i принималась равной 98 кН, данная величина будет неизменной по всей длине стержня, поскольку крутящий момент также принимался постоянным по длине.

Результаты вычисления максимальных нормальных напряжений в полке в зависимости от длины стержня по предлагаемой нами модели (синие маркеры), по теории стесненного кручения [1] (красная линия), а также по модели, построенной в *ANSYS* (крупные черные маркеры), представлены на рис. 4.

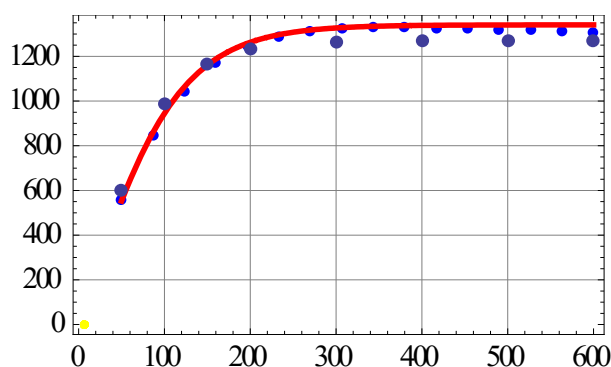


Рис. 4. Максимальные нормальные напряжения в полке в зависимости от длины стержня (по оси абсцисс отложена длина стержня l в см, по оси ординат – напряжения σ в kH/cm^2)

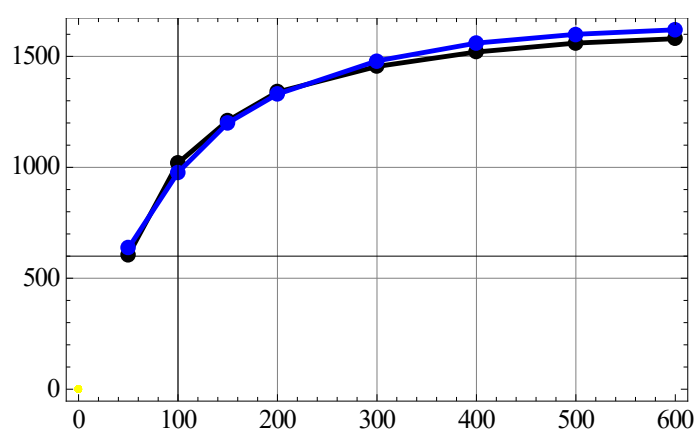


Рис. 5. Максимальные интенсивности напряжений в полке в зависимости от длины стержня (по оси абсцисс отложена длина стержня l в см, по оси ординат – интенсивность напряжений σ_i в kH/cm^2)

Кроме того, сравнение велось по максимальному значению интенсивности напряжений в полке:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}. \quad (6)$$

Результаты вычисления показаны на рис. 5. Синими маркерами представлены значения σ_i , полученные по предлагаемой нами модели, черными маркерами – значения σ_i , полученные по модели, построенной в ANSYS.

Обсуждение

Анализируя представленные результаты, можно сделать вывод о том, что предлагаемая методика позволяет вычислять напряжения, возникающие при стесненном кручении, с по-

грешностью, не превышающей 5 % (при геометрических параметрах стержня, близких к вышеописанным).

Также были проведены численные исследования по определению положений точек коллокации. Оказалось, что равномерное их распределение не приводит к хорошему согласованию с теоретически точным результатом. На основании различных численных экспериментов был сделан вывод о том, что точки коллокации за исключением первой должны располагаться ближе к заземленному торцу тонкостенного стержня. Анализ разных способов расположения этих точек привел к выводу, что хорошим является разбиение, которое близко к приведенному выше, а именно можно рекомендовать использовать только четыре точки коллокации, которые стоят от заземления на расстояниях

l , $10c$, $8c$, $6c$, где $c = h + 2b + 6t$. При этом, если получится, что $10c > l$ или $8c > l$, или $6c > l$, то эти точки исключаются из рассмотрения. Интересно отметить тот факт, что при определении расположения этих точек не участвует длина стержня при ее больших величинах (при $10c > l$). Объяснить это можно тем, что для длинных стержней изгибные

напряжения стабилизируются, как это видно из рис. 4.

В дальнейшем необходимо рассмотреть применение данной методики к несимметричным сечениям, например к швеллеру, поскольку отсутствие симметрии приводит к необходимости рассмотрения дополнительных условий совместности.

Список литературы

1. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни / В.З. Власов. – М. : Физматгиз, 1959. – 574 с.
2. Уманский, А.А. Строительная механика самолета/ А.А. Уманский. – М. : Оборонгиз, 1961. – 533 с.
3. Лужин, О.В. Теория тонкостенных стержней замкнутого профиля и ее применение в мостостроении/ О.В. Лужмин. – М. : ВИА, 1959. – 245 с.
4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции (Актуализированная редакция СНиП II-23-81*) / исполнитель – АО «НИЦ «Строительство». – М. : Стандартинформ, 2017. – 142 с.
5. Yurchenko, V. Cross-Section Size Optimization of Cold-Formed Steel Lipped Channel Structural Members Subjected to Axial Compression / V. Yurchenko, A. Perelmutter, I. Peleshko // Civil and Environmental Engineering . –2022. – Vol. 2.

References

1. Vlasov, V.Z. Tonkostennyye uprugkiye sterzhni / V.Z. Vlasov. – M. : Fizmatgiz, 1959. – 574 s.
2. Umanskiy, A.A. Stroitel'naya mekhanika samoleta/ A.A. Umanskiy. – M. : Oborongiz, 1961. – 533 s.
3. Luzhin, O.V. Teoriya tonkostennykh sterzhney zamknutogo profilya i yeye primeneniye v mostostroyenii/ O.V. Luzhmin. – M. : VIA, 1959. – 245 s.
4. SP 16.13330.2017. Stal'nyye konstruksii (Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*) / ispolnitel' – AO «NITS «Stroitel'stvo». – M. : Standartinform, 2017. – 142 s.

© Р.А. Каюмов, И.В. Гришин, 2025

УДК 004.8

П.С. КРАВЕЦ, Д.В. КАЛИТИН

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», г. Москва

АДАПТАЦИЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СПЕЦИФИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ: ТЕХНИКИ И ВЫЗОВЫ

Ключевые слова: большие языковые модели; дообучение; *domain-specific learning*; *few-shot learning*; *LLM*; *prompt-engineering*.

Аннотация. Целью статьи является исследование адаптации больших языковых моделей (*LLM*) для специфичных областей с использованием таких техник, как *few-shot learning*, *prompt-engineering* и *domain-specific learning*. В основе работы лежит гипотеза о том, что применение указанных техник может значительно улучшить эффективность *LLM* в специализированных задачах. Тем самым задачами исследования являются анализ преимуществ этих подходов в повышении производительности моделей в различных приложениях и выявление проблем, связанных с нехваткой данных, катастрофическим забыванием и сдвигом области. В качестве методов исследования используются обзор существующих исследований и анализ возможных решений для преодоления выявленных проблем. В заключение подчеркивается необходимость дальнейшего развития и совершенствования *LLM* для достижения значительных успехов в процессе их дообучения.

Большие языковые модели (*Large Language Models* – *LLM*) произвели революцию в области обработки естественного языка, продемонстрировав выдающиеся способности в понимании и генерации текстов, схожих с человеческими. В различных языковых задачах, от ответов на вопросы до креативного письма, такие модели, как *GPT-4* от *OpenAI*, установили новые эталоны. Эти модели обучаются на огромных объемах разнообразных текстовых данных, что позволяет им улавливать сложные паттерны и нюансы языка. По данным исследо-

ваний, к 2023 г. более 80 % компаний из списка *Fortune 500* интегрировали *LLM* в свои бизнес-процессы, а объем рынка генеративного ИИ оценивается в \$42 млрд [1]. Однако их эффективность в специализированных областях – от медицинской диагностики до юридического анализа – остается ограниченной без дополнительной адаптации к конкретным задачам и областям. Это ограничение возникает из-за широкой природы их обучающих данных, которые могут не охватывать в достаточной мере тонкости определенных областей или уникальные требования некоторых приложений. В результате производительность этих моделей «из коробки» в специализированных контекстах может быть субоптимальной.

Для решения этой проблемы исследователи разработали различные методы дообучения (*fine-tuning*). Эти методы направлены на адаптацию предварительно обученных (*pre-trained*) *LLM* для более эффективного выполнения задач или работы в определенных областях.

В данной статье рассматриваются три передовых подхода к дообучению, которые продемонстрировали значительный потенциал в последние годы.

1. Обучение с малым количеством примеров (*few-shot learning*): данная техника позволяет моделям адаптироваться к новым задачам с минимальным количеством специфических для задачи обучающих данных, что особенно ценно в ситуациях, когда размеченные данные дефицитны.

2. *Prompt-engineering*: метод направляет *LLM* на получение более точных и релевантных результатов без изменения архитектуры самой модели путем тщательной разработки входных инструкций или промптов.

3. Адаптация к специфике области

(*domain-specific adaptation*): такой подход включает дообучение *LLM* на данных из определенных областей или отраслей, что повышает их производительность по специфическим задачам.

Каждая техника предлагает уникальные преимущества и уже продемонстрировала впечатляющие результаты в различных приложениях. Понимание таких современных методов дообучения моделей позволит как компаниям, так и обычным пользователям более эффективно использовать возможности искусственного интеллекта для своих нужд, потенциально открывая новые возможности и повышая эффективность в решении самых разнообразных задач.

Few-shot learning

Few-shot learning (обучение с малым количеством примеров) – технология дообучения моделей, которая приобрела значительную популярность в области обработки естественного языка, особенно в контексте больших языковых моделей (*LLM*). Она позволяет адаптироваться модели к новым задачам или областям с минимальным количеством специфических для задачи обучающих данных, что делает ее незаменимой в ситуациях, когда размеченные данные дефицитны или дорогостоящи для получения, либо когда требуется быстрая адаптация к новым задачам [2].

Метод основан на предоставлении модели нескольких примеров (шаблонов) целевой задачи непосредственно в контексте запроса, без изменения ее параметров. Эти примеры служат для модели неявной инструкцией, направляя ее на понимание требований задачи и генерацию соответствующих ответов для новых невидимых входов.

Реализация *few-shot learning* в контексте дообучения *LLM* включает несколько ключевых этапов.

1. Выбор примеров: требуется тщательно выбирать небольшой набор разнообразных высококачественных примеров, точно представляющих целевую задачу. Эти примеры должны охватывать различные аспекты задачи и включать крайние случаи по возможности.

2. Форматирование подсказок: следующим шагом идет необходимость структурировать входную подсказку так, чтобы она включала выбранные примеры, обычно в виде пар «вход-

выход». Формат должен четко разделять примерные входы и соответствующие им выходы от нового входа, для которого требуется предсказание.

3. Представление контекста: затем отформатированную подсказку требуется «предоставить» *LLM* вместе с примерами и новым входом.

4. Генерация ответов: если модель получила на вход правильно собранные примеры, то после этого она способна отвечать с высокой точностью на основе предоставленного контекста и примеров.

Обучение с малым количеством примеров продемонстрировало многообещающие результаты во множестве задач обработки естественного языка, особенно в ситуациях ограниченности специфических данных или необходимости быстрой адаптации к новым областям. Некоторые заметные применения включают следующее.

1. Анализ настроений: обучение с малым количеством примеров позволяет *LLM* выполнять анализ настроений по тексту из специализированной области при ограниченном количестве обучающих данных; например, анализировать отзывы клиентов о нишевом продукте категории.

2. Классификация текста: для новых или быстро развивающихся категорий обучение с малым количеством примеров позволяет быстро адаптировать *LLM* для классификации текстов по новым или изменяющимся категориям без обширного переобучения [3].

Эти применения подчеркивают универсальность и потенциал *few-shot learning* для повышения адаптивности и полезности *LLM* в различных областях и задачах.

Prompt-engineering

Prompt-engineering стала мощной техникой для повышения производительности больших языковых моделей без изменения их базовой архитектуры. Этот подход включает в себя тщательную разработку входных инструкций (или промптов), чтобы направить модель на создание более точных, релевантных и желаемых ответов. Поскольку *LLM* продолжают расти в размерах и возможностях, искусство и наука промпт-инжиниринга становятся все более важными для эффективного использования этих моделей в различных приложениях [4].

Основной принцип данного метода заключается в согласовании представления задачи с обучением и базой знаний *LLM*. Это согласование позволяет модели лучше понимать и выполнять желаемую задачу: так происходит оптимизация формулировок запросов (промптов) для явного указания модели на требуемый формат или область ответа.

Prompt-engineering охватывает различные стратегии, каждая из которых предназначена для оптимизации различных аспектов производительности *LLM*. В качестве основных стратегий можно выделить следующие.

1. Декомпозиция задач: этот подход включает разбиение сложных задач на более мелкие, простые подзадачи. Представляя серию более простых промптов, модель может решать сложные проблемы шаг за шагом, что часто приводит к улучшению общей производительности.

2. Ролевое моделирование: назначение модели конкретной роли или даже персонажа может направлять ее ответы и помогать поддерживать согласованность в тональности и специфике желаемого ответа. Эта стратегия полезна в сценариях, требующих специализированных знаний или стилей общения.

3. Структурирование выходов: уточнение желаемого формата или структуры ответа помогает обеспечить соответствие ответов модели требованиям пользователя. Это может включать определение конкретных разделов, заголовков или форматов данных.

Эти стратегии могут быть комбинированы и адаптированы под конкретные случаи использования, позволяя осуществлять тонкий контроль над выходами модели [5].

Влияние эффективного промпт-инжиниринга выходит за рамки простых показателей производительности. Оно может значительно повысить удобство использования и надежность моделей в реальных приложениях — от создания контента и анализа данных до обслуживания клиентов и систем поддержки принятия решений.

Domain-specific learning

Domain-specific learning является важной техникой для повышения производительности больших языковых моделей в специализированных областях или отраслях. Этот подход включает в себя дообучение предварительно обучен-

ных *LLM* на данных, специфичных для данной области, чтобы улучшить их понимание и генерацию в определенных контекстах [6].

Эффективность *domain-specific learning* была продемонстрирована в различных сферах, включая здравоохранение, финансы и юриспруденцию. Например, исследователи успешно адаптировали *LLM* к медицинской литературе, значительно улучшив их производительность в таких задачах, как ответ на медицинские вопросы и суммирование клинических заметок.

Хотя адаптация для специфичных областей предлагает значительные преимущества, она также представляет собой несколько проблем, которые исследователи и практики должны решить.

1. Нехватка данных: многие специализированные области не имеют крупных высококачественных наборов данных для эффективного дообучения.

2. «Катастрофическое забывание»: дообучение на специфичных данных может привести к потере моделью своих общих языковых навыков [7].

3. Изменения в области: по мере эволюции областей адаптированные модели могут устаревать.

Поскольку *domain-specific learning* продолжает развиваться, появляются новые техники и лучшие практики для повышения эффективности и результативности адаптации больших языковых моделей (**БЯМ**) к специализированным областям. Эти улучшения делают *LLM* более полезными в различных отраслях и специализированных сферах, что в конечном итоге приведет к более точному и релевантному пониманию языка и его генерации в задачах, специфичных для данной области.

Рассмотренные техники дообучения демонстрируют огромный потенциал адаптации больших языковых моделей к различным областям и задачам, а продолжение разработки и совершенствования этих моделей обещает еще более значительные достижения в будущем, трансформируя наш подход к сложным задачам в различных сферах. С этими техниками компании могут использовать мощности *LLM* для создания более точных, контекстно осведомленных и эффективных решений, что в конечном итоге приведет к улучшению пользовательского опыта и трансформации принципов работы и выполнения задач.

Список литературы/References

1. Chui M. et al. The economic potential of generative AI. – 2023 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>.
2. Finn, C. Model-agnostic meta-learning for fast adaptation of deep networks / C. Finn, P. Abbeel, S. Levine // International conference on machine learning. – PMLR, 2017. – P. 1126–1135.
3. Yin, W. Meta-learning for few-shot natural language processing: A survey / W. Yin // arXiv preprint arXiv:2007.09604, 2020.
4. Hu, Y. Improving large language models for clinical named entity recognition via prompt engineering / Y. Hu [et al.] // Journal of the American Medical Informatics Association. – 2024. – Vol. 31. – No. 9. – P. 1812–1820.
5. Sanh, V. Multitask prompted training enables zero-shot task generalization / V. Sanh [et al.] // arXiv preprint arXiv:2110.08207, 2021.
6. Gururangan, S. Don't stop pretraining: Adapt language models to domains and tasks / S. Gururangan [et al.] // arXiv preprint arXiv:2004.10964, 2020.
7. Esteva, A. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks / A. Esteva [et al.] // Nature. – 2017. – Vol. 542. – No. 7639. – P. 115–118.
8. Gu, Y. Domain-specific language model pretraining for biomedical natural language processing / Y. Gu [et al.] // ACM Transactions on Computing for Healthcare (HEALTH). – 2021. – Vol. 3. – No. 1. – P. 1–23.

© П.С. Кравец, Д.В. Калитин, 2025

УДК 519.852

С.И. НОСКОВ, С.В. БЕЛЯЕВ, А.П. МЕДВЕДЕВ

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ В ПРОСТОЙ ВЛОЖЕННОЙ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ПЕРВОГО ТИПА

Ключевые слова: задача линейно-булева программирования; индексное множество; метод наименьших модулей; мощность множества; оценивание параметров; простая вложенная кусочно-линейная регрессия первого типа.

Аннотация. В работе дан краткий обзор публикаций по кластеризации (группированию) переменных при моделировании сложных систем. В частности, рассмотрены: универсальная модель выбора переменных, учитывающая возможные роли для каждой из них; два метода разделения данных на схожие кластеры и выбора информативных переменных, которые способствуют кластеризации; новый метод выбора переменных для использования в кластерном и классификационном анализе, который является как интуитивно понятным, так и эффективным в вычислительном отношении; процедура кластеризации для данных смешанного типа с использованием модели скрытой переменной; способ регуляризации для выбора переменных при кластеризации и классификации на основе моделей; методология построения самоорганизующейся сети для характеристики взаимосвязей между переменными и для их кластеризации.

Методы и объект исследования: объектом исследования является простая кусочно-линейная регрессия, в правую часть которой входят внешний минимум и внутренние минимум и максимум. Процесс формирования совокупностей независимых переменных основан на методах линейного регрессионного анализа и аппарате математического программирования.

Результаты: сформулирована задача идентификации параметров простой вложенной кусочно-линейной регрессии первого типа, в пра-

вую часть которой входят внешний минимум и внутренние минимум и максимум, а также формирования для них совокупностей независимых переменных. Рассмотрены случаи как пустого, так и непустого пересечения соответствующих индексных множеств. Возникающая при этом задача минимизации суммы модулей ошибок аппроксимации сводится к задаче линейно-булева программирования.

Введение

При построении математических, в том числе регрессионных, моделей сложных объектов часто возникает необходимость в объединении (кластеризации) независимых переменных в относительно однородные группы. Их формирование может быть важным как само по себе с содержательной стороны, так и позволить повысить точность разрабатываемых моделей. Так, в работе [1] рассматривается проблема выбора переменных или признаков для кластеризации на основе модели. При этом проблема сравнения двух вложенных подмножеств переменных переформулирована как проблема сравнения моделей и решается с использованием приближенных байесовских факторов. В статье [2] предлагается относительно универсальная модель выбора переменных, учитывающая три возможные роли для каждой из них: релевантные переменные, нерелевантные переменные, зависящие от части соответствующих переменных кластеризации, и нерелевантные переменные, полностью независимые от них. Исследование [3] посвящено выбору переменных в многомерном кластерном анализе. Предлагается два метода, которые одновременно разделяют данные на схожие кластеры и выбирают

информативные переменные, которые способствуют такой кластеризации. В работе [4] представлен новый метод выбора переменных для использования в кластерном и классификационном анализе, который является как интуитивно понятным, так и эффективным в вычислительном отношении. Изложение в основном фокусируется на приложениях в обучении на основе смешанных моделей, но этот метод можно адаптировать для использования совместно с другими методами кластеризации/классификации. Целью статьи [5] являются предоставление обзора теории, лежащей в основе кластеризации на основе моделей, описание связанных с ней инференциальных подходов и методологических разработок, которые облегчают использование кластеризации на основе моделей для широкого спектра типов данных.

В исследовании [6] разработана модельная процедура кластеризации для данных смешанного типа с использованием модели скрытой переменной. Предполагается, что она, следуя смеси гауссовых распределений, генерирует наблюдаемые данные смешанного типа. Они могут быть любой комбинацией непрерывных, бинарных, порядковых или номинальных переменных. В источнике [7] представлено расширение задачи о p -медиане, в которой функция расстояния вычисляется как сумма расстояний по q наиболее важным переменным из набора размера m . Эта задача имеет приложения в кластерном анализе (например, в социологических опросах), где у аналитиков есть большой список переменных, но только подмножество из них (истинные переменные) подходит для раскрытия структуры кластера. В материале [8] предлагается способ регуляризации для выбора переменных при кластеризации и классификации на основе моделей. При этом переменные сначала ранжируются с использованием процедуры типа лассо, чтобы избежать необходимости применения медленных пошаговых алгоритмов. В статье [9] представлена новая, основанная на нелинейном анализе, методология построения самоорганизующейся сети для характеристики взаимосвязей между переменными и их кластеризации в однородные подгруппы для предиктивного моделирования. В исследовании [10] производится сравнение трех использующих базовую модель мультиномиальной смеси алгоритмов для кластеризации на основе моделей для многомерных наборов данных с дискретными переменными.

Результаты и обсуждение

В работе [11] представлены простые вложенные кусочно-линейные регрессии первого и второго типов:

$$y_k = \min\{\min_{i \in I}\{\alpha_i x_{ki}\}, \max_{i \in J}\{\beta_i x_{ki}\}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n} \quad (1)$$

и

$$y_k = \max\{\min_{i \in I}\{\alpha_i x_{ki}\}, \max_{i \in J}\{\beta_i x_{ki}\}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где индексные множества I и J являются подмножествами множества номеров независимых переменных $x_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ и могут иметь непустые попарные пересечения, y – зависимая переменная, $\alpha_i, i \in I, \beta_i, i \in J$ – подлежащие вычислению оценки параметров, n – количество наблюдений, ε_k – ошибки аппроксимации. Все переменные в моделях (1), (2) детерминированы.

В работе [12] решена задача оценивания неизвестных параметров модели (1) при двух условиях.

1. В качестве функции потерь выбрана следующая:

$$L_1(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k|, \quad (3)$$

соответствующая методу наименьших модулей (*least absolute deviation method*, англ.).

2. Известен состав индексных множеств I и J .

В источнике [12] эта задача сведена к задаче линейно-булева программирования (ЛБП).

Сделаем постановку задачи минимизации функции потерь (3) более общей. Предположим, что состав множеств I и J неизвестен, а известна лишь их мощность (количество элементов):

$$|I| = d_1, |J| = d_2, d_1 < m, d_2 < m.$$

Необходимо путем минимизации суммы модулей ошибок аппроксимации модели (1) решить одновременно две задачи: сформировать оптимальным образом множества I и J при известных значениях d_1 и d_2 , а также идентифицировать параметры этой модели $\alpha_i, i \in I, \beta_i, i \in J$. Оказывается, что эта за-

дача также может быть сведена к задаче ЛБП, если воспользоваться вычислительными приемами из источника [12].

Введем в рассмотрение булевы переменные $\gamma_i, \mu_i, i = \overline{1, m}$:

$$\gamma_i = \begin{cases} 1, & i \in I \\ 0, & i \notin I \end{cases}$$

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & i \in J \\ 0, & i \notin J \end{cases}$$

Введем также вещественные переменные $h_k, g_k, t_k, k = \overline{1, n}$:

$$h_k = \min_{i=\overline{1, m}} \{ \alpha_i x_{ki} \}, k = \overline{1, n},$$

$$g_k = \max_{i=\overline{1, m}} \{ \beta_i x_{ki} \}, k = \overline{1, n},$$

$$t_k = \min(h_k, g_k), k = \overline{1, n}.$$

Тогда задача формирования множеств I, J и оценивания параметров модели (1) сводится к следующей задаче ЛБП:

$$h_k \leq \alpha_i x_{ki}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

$$\alpha_i x_{ki} - h_k \leq (1 - s_{ki}) M_i, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m s_{ki} = 1, k = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$\alpha_i \geq (1 - \gamma_i) N_i, i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \gamma_i = d_1, \quad (8)$$

$$g_k \geq \beta_i x_{ki}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

$$\beta_i x_{ki} - g_k \geq (p_{ki} - 1) M_i, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m p_{ki} = 1, k = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$\beta_j \leq \mu_j N_j, j = \overline{1, m}, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^m \mu_j = d_2, \quad (13)$$

$$t_k \leq h_k, k = \overline{1, n}, \quad (14)$$

$$t_k \leq g_k, k = \overline{1, n}, \quad (15)$$

$$h_k - t_k + \bar{M} r_k \leq \bar{M}, k = \overline{1, n}, \quad (16)$$

$$g_k - t_k - \bar{M} r_k \leq 0, k = \overline{1, n}, \quad (17)$$

$$t_k + u_k - v_k = y_k, k = \overline{1, n}, \quad (18)$$

$$u_k \geq 0, v_k \geq 0, h_k \geq 0, g_k \geq 0, t_k \geq 0, k = \overline{1, n}, \quad (19)$$

$$s_{ki} \in \{0, 1\}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (20)$$

$$p_{ki} \in \{0, 1\}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (21)$$

$$r_k \in \{0, 1\}, k = \overline{1, n}, \quad (22)$$

$$\gamma_i \in \{0, 1\}, i = \overline{1, m}, \quad (23)$$

$$\mu_j \in \{0, 1\}, j = \overline{1, m}, \quad (24)$$

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) + \sum_{i=1}^m l_i (\alpha_i - \beta_i) \rightarrow \min. \quad (25)$$

Здесь $l_i, i = \overline{1, m}$ – наперед заданные малые, а $\bar{M}, M_i, i = \overline{1, m}$ – большие положительные числа,

$$N_j = 10 \max_{k=\overline{1, n}} y_k / x_{kj}, j = \overline{1, m}.$$

При этом

$$N_i < \min_{i=\overline{1, m}} M_i.$$

Если характер связанной с разработкой модели прикладной задачи требует, чтобы множества I и J не пересекались ($I \cap J = \emptyset$), необходимо в состав ограничений задачи ЛБП (4)–(25) включить условие:

$$\gamma_i + \mu_i = 1, i = \overline{1, m}. \quad (26)$$

Рассмотрим иллюстративный пример. Сформируем с помощью датчика случайных чисел выборку данных:

$$X = \begin{pmatrix} 9 & 44 & 17 & 77 & 55 & 27 \\ 1 & 69 & 86 & 24 & 92 & 37 \\ 10 & 89 & 67 & 49 & 35 & 69 \\ 95 & 47 & 19 & 79 & 79 & 67 \\ 38 & 21 & 60 & 18 & 2 & 18 \\ 45 & 32 & 38 & 48 & 78 & 52 \\ 3 & 19 & 15 & 53 & 13 & 86 \\ 62 & 83 & 50 & 86 & 75 & 34 \end{pmatrix},$$

$$y = \begin{pmatrix} 21 \\ 51 \\ 67 \\ 74 \\ 14 \\ 78 \\ 52 \\ 41 \end{pmatrix}.$$

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

Таким образом, $m = 6$, $n = 8$.

Будем строить простую вложенную кусочно-линейную регрессию первого типа (1) с допущением непустого пересечения индексных множеств I и J . Зададим их мощность:

$$d_1 = d_2 = 3,$$

а также необходимые константы:

$$\bar{M} = M_i = 1000, i = \overline{1, m},$$

$$l_i = 0,001, i = \overline{1, m}.$$

Решим задачу ЛБП (4)–(25) с помощью размещенной в сети Интернет в свободном доступе специализированной программы *LPsolve* (например, [13–15]). В результате получим модель:

$$\begin{aligned} y_k &= \min\{\min\{3,89x_{k3}, 7x_{k5}, 1,5x_{k6}\}, \\ &\quad \max\{2,33x_{k1}, 1x_{k3}, 0,78x_{k6}\}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 8}, \\ L_1 &= 67,77. \end{aligned} \quad (27)$$

Таким образом, $I = \{3, 5, 6\}$, $J = \{1, 3, 6\}$. При этом независимые переменные x_3 и x_6 вошли в оба индексных множества, а переменные x_2 и x_4 , напротив, не вошли ни в одно из них. Приведем также значения остальных переменных задачи:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$r = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$\gamma = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \mu = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$\begin{aligned} h &= (40,5, 11,3, 103,5, 74, 14, 78, 33,9, 51), \\ g &= (21, 86, 67, 221,67, 88,67, 105, 66,89, \\ &\quad 144,67), \\ t &= (21, 11,3, 67, 74, 14, 78, 33,9, 51), \\ u &= (0, 39,69, 0, 0, 0, 0, 18,08, 0), \\ v &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10). \end{aligned}$$

Здесь

$$S = \|s_{ki}\|, k = \overline{1, 8}, i = \overline{1, 6}, P = \|p_{ki}\|,$$

$$k = \overline{1, 8}, i = \overline{1, 6}, r = (r_1, \dots, r_8)^T,$$

$$\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_8)^T, \mu = (\mu_1, \dots, \mu_8)^T,$$

$$h = (h_1, \dots, h_8), g = (g_1, \dots, g_8),$$

$$t = (t_1, \dots, t_8), u = (u_1, \dots, u_8),$$

$$v = (v_1, \dots, v_8).$$

Потребуем теперь пустоты пересечения множеств I и J , включив условие (26) в состав ограничений задачи ЛБП (4)–(25). Получим:

$$y_k = \min\{\min\{1, 34x_{k4}, 7x_{k5}, 1, 2x_{k6}\}, \quad (28)$$

$$\max\{0, 78x_{k1}, 1, 57x_{k2}, 3, 9x_{k3}\}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 8},$$

$$L_1=84,34.$$

Модель (28) на 19,6 % менее точна, чем модель (27), однако множества I и J для нее не пересекаются, задействованы все независимые переменные.

В работе поставлена задача оценивания параметров простой вложенной кусочно-ли-

нейной регрессионной модели первого типа, в правую часть которой входят внешний минимум и внутренние минимум и максимум, а также задача формирования для них составов независимых предикторов. При этом рассмотрены случаи пустого и непустого пересечения соответствующих индексных множеств. Возникающая при этом задача минимизации суммы абсолютных ошибок аппроксимации сведена к задаче линейно-булева программирования. Решен иллюстративный пример.

Список литературы

1. Raftery, A.E. Variable Selection for Model-Based Clustering / A.E. Raftery, N. Dean // *Journal of the American Statistical Association*. – 2006. – Vol. 101. – No. 473. – P. 168–178.
2. Maugis, C. Variable selection in model-based clustering: A general variable role modeling / C. Maugis, G. Celeux, M.-L. Martin-Magniette // *Computational Statistics & Data Analysis*. – 2009. – Vol. 53. – No. 11. – P. 3872–3882.
3. Wang, S. Variable Selection for Model-Based High-Dimensional Clustering and Its Application to Microarray Data / S. Wang, Ji Zhu // *Biometrics*. – 2008. – Vol. 64. – No. 2. – P. 440–448.
4. Andrews, J.L. Variable Selection for Clustering and Classification / J.L. Andrews, P.D. McNicholas // *Journal of Classification*. – 2014. – Vol. 31. – P. 136–153.
5. Gormley, I.C. Model-Based Clustering / I.C. Gormley, T.B. Murphy, A.E. Raftery // *Annual Review of Statistics and Its Application*. – 2023. – Vol. 10. – P. 573–595.
6. McParland, D. Model based clustering for mixed data: clustMD / D. McParland, I.C. Gormley // *Advances in Data Analysis and Classification*. – 2016. – Vol. 10. – P. 155–169.
7. Benati, S. A mixed integer linear model for clustering with variable selection / S. Benati, S. García // *Computers & Operations Research*. – 2014. – Vol. 43. – P. 280–285.
8. Celeux, G. Variable selection in model-based clustering and discriminant analysis with a regularization approach / G. Celeux, C. Maugis-Rabusseau, M. Sedki // *Advances in Data Analysis and Classification*. – 2019. – Vol. 13. – No. 3. – P. 259–278.
9. Liu, G. Self-organizing network for variable clustering / G. Liu, H. Yang // *Annals of Operations Research*. – 2018. – Vol. 263. – No. 1. – P. 119–140.
10. Meilă, M. An Experimental Comparison of Model-Based Clustering Methods / M. Meilă, D. Heckerman // *Machine Learning*. – 2001. – Vol. 42. – P. 9–29.
11. Носков, С.И. Некоторые формы вложенной кусочно-линейной регрессии / С.И. Носков // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2023. – № 3. – С. 467–469.
12. Носков, С.И. Идентификация параметров простой формы вложенной кусочно-линейной регрессии / С.И. Носков // *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*. – 2023. – № 3(67). – С. 57–61.
13. Шипицына, Р.Е. Сравнение удобства использования программных продуктов при решении транспортной задачи линейного программирования: LPSolve IDE и Microsoft Excel / Р.Е. Шипицына, Е.Е. Витвицкий // *V Национальная научно-практическая конференция «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство»*. Сб. докладов. – Омск, 28–29 апреля 2022 г. – Омск : СиБАДИ, 2022. – С. 250–254.
14. Арсланов, М.З. Математические модели задачи об упаковке единичных квадратов / М.З. Арсланов // *Проблемы информатики*. – 2015. – № 4(29). – С. 5–13.
15. Первун, О.Е. Оптимизация и исследование задач линейного программирования средствами приложения R / О.Е. Первун // *Информационно-компьютерные технологии в экономике, образова-*

нии и социальной сфере. – 2022. – № 4(38). – С. 87–92.

References

11. Noskov, S.I. Nekotoryye formy vlozhennoy kusochno-lineynoy regressii / S.I. Noskov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2023. – № 3. – S. 467–469.
12. Noskov, S.I. Identifikatsiya parametrov prostoy formy vlozhennoy kusochno-lineynoy regressii / S.I. Noskov // Uchenyye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – № 3(67). – S. 57–61.
13. Shipitsyna, R.Ye. Sravneniye udobstva ispol'zovaniya programmnykh produktov pri reshenii transportnoy zadachi lineynogo programmirovaniya: LPSolve IDE i Microsoft Excel / R.Ye. Shipitsyna, Ye.Ye. Vitvitskiy // V Natsional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Obrazovaniye. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo». Sb. dokladov. – Omsk, 28–29 aprelya 2022 g. – Omsk : SibADI, 2022. – S. 250–254.
14. Arslanov, M.Z. Matematicheskiye modeli zadachi ob upakovke yedinichnykh kvadratov / M.Z. Arslanov // Problemy informatiki. – 2015. – № 4(29). – S. 5–13.
15. Pervun, O.Ye. Optimizatsiya i issledovaniye zadach lineynogo programmirovaniya sredstvami prilozheniya R / O.Ye. Pervun // Informatsionno-komp'yuternyye tekhnologii v ekonomike, obrazovanii i sotsial'noy sfere. – 2022. – № 4(38). – S. 87–92.

© С.И. Носков, С.В. Беляев, А.П. Медведев, 2025

УДК 519.852

С.И. НОСКОВ, С.В. БЕЛЯЕВ, А.Р. ЧЕКАЛОВА, А.П. МЕДВЕДЕВ
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет
путей сообщения», г. Иркутск

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ГРУППИРОВКА ПЕРЕМЕННЫХ В СМЕШАННОЙ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

Ключевые слова: группы переменных; задача линейно-булева программирования; метод наименьших модулей; операции *min* и *max*; производство никеля; смешанная кусочно-линейная регрессия.

Аннотация. Данная работа посвящена задаче оценивания параметров смешанной кусочно-линейной регрессионной модели. Целью исследования является разработка алгоритмического способа решения задачи идентификации ее параметров и формирования составов индексных множеств, определяющих в ней операции *min* и *max*.

Методы и объект исследования: объектом исследования является смешанная кусочно-линейная регрессия, в правую часть которой входят операции *min* и *max* от групп независимых переменных, методами – линейный регрессионный анализ и аппарат математического программирования.

Результаты: разработана алгоритмическая схема, позволяющая в случае использования метода наименьших модулей свести задачу идентификации параметров смешанной кусочно-линейной регрессии и формирования составов индексных множеств, определяющих в ней операции *min* и *max*, к задаче линейно-булева программирования. Построена смешанная кусочно-линейная регрессионная модель производства никеля в Российской Федерации. В качестве независимых переменных модели использованы: объем добычи никеля из недр, запасы никеля, среднегодовые цены на рафинированный никель на Лондонской бирже металлов, объем добычи сульфидной медно-никелевой руды.

Введение

Моделирование сложных систем предполагает применение как весьма простых, обычно линейных, зависимостей, так и довольно сложных соотношений, в том числе смешанного характера, вплоть до задействования модельных форм, принадлежащих разным функциональным классам. Так, в работе [1] представлен обобщенный тип смешанной модели сборочной линии с многопользовательскими рабочими станциями, где несколько рабочих одновременно выполняют различные задачи на одном и том же изделии. Этот особый вид сборочной линии обычно используется для сборки различных моделей крупных изделий, таких как автобусы и грузовики, на одной производственной линии. В источнике [2] представлен новый метод одновременной балансировки и упорядочивания роботизированных сборочных линий путем построения смешанной модели, который содержит три подзадачи: назначение задач, упорядочение моделей и распределение роботов. Разработана модель смешанного целочисленного программирования для минимизации времени выполнения задач, а с помощью решателя *CPLEX* реализуются оптимизационные задачи небольшой размерности. В статье [3] разработана математическая модель для описания и прогнозирования производительности коммерческих нанофильтрационных мембран для смешанных электролитных растворов. Модель основана на трех фундаментальных идеях: расширенном уравнении Нернста – Планка, модели равновесия Доннана и теории Гуи – Чепмена. Исследование [4] посвящено решению задачи секвени-

рования со стохастическим временем обработки на многостанционной сборочной линии. Разработана новая смешанно-целочисленная нелинейная модель для минимизации взвешенной суммы ожидаемой общей рабочей перегрузки и простоя, которая преобразуется в смешанно-целочисленную линейно-программную модель для оптимальной обработки небольших экземпляров. В материале [5] формализована новая лексикографическая проблема балансировки смешанной модели сборочной линии с узким местом.

В работе [6] представлен формальный вывод новой однонаправленной модели для нестационарных смешанных течений в неоднородных закрытых водопроводных трубах с использованием формального асимптотического анализа, который является расширением классических моделей мелкой воды. В статье [7] обсуждаются математические модели физических процессов, которые приводят к смешанным уравнениям, а некоторые свойства смешанных систем сравниваются со свойствами гиперболических систем. В источнике [8] представлена общая смешанная стохастическая модель для решения задачи о выборе ассортимента продукции и размера партии товаров путем введения экономической добавленной стоимости в качестве целевой функции формирования портфеля продуктов. В исследовании [9] разработана двухэтапная структура для балансировки смешанной модели параллельной U -образной сборочной линии с учетом эргономических рисков.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим смешанную кусочно-линейную регрессию [10; 11]:

$$y_k = \alpha_0 + \min_{i \in I} \{\alpha_i x_{ki}\} + \max_{j \in J} \{\beta_j x_{kj}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Здесь y – зависимая (выходная) переменная, $x_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ – независимые (входные) переменные, $\alpha_0, \alpha_i, i \in I, \beta_i, i \in J$ – подлежащие идентификации параметры, k – номер наблюдения, n – их количество, ε_k – ошибки аппроксимации, I и J – наперед заданные индексные множества номеров предикторов. При этом имеют место соотношения:

$$I \cup J = \{1, 2, \dots, m\}, I \cap J = \emptyset.$$

Все переменные в модели (1) детерминированы.

Модель (1) представляет своего рода аддитивный симбиоз [10] функции Леонтьева:

$$y_k = \min_{i \in I} \{\alpha_i x_{ki}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}$$

и кусочно-линейной функции риска

$$y_k = \max_{j \in J} \{\beta_j x_{kj}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}.$$

В источнике [10] задача оценивания параметров регрессии (1) без свободного члена (что, впрочем, несущественно) с известными составами индексных множеств I и J путем минимизации суммы модулей ошибок аппроксимации

$$G(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k|$$

сведена к задаче линейно-булева программирования (ЛБП).

Пусть теперь эти составы неизвестны, а известна лишь мощность указанных множеств (количество элементов в них):

$$|I| = p_1, |J| = p_2.$$

Поставим задачу одновременного определения составов индексных множеств I и J и оценок параметров модели (1):

$$G_1(\alpha, \beta, I, J) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k| \rightarrow \min. \quad (2)$$

Введем в рассмотрение булевы переменные:

$$\gamma_i = \begin{cases} 1, & i \in I \\ 0, & i \notin I \end{cases}$$

$$\mu_j = \begin{cases} 1, & j \in J \\ 0, & j \notin J \end{cases}$$

Тогда, используя вычислительные приемы из источника [10], задача (2) может быть сведена к следующей задаче ЛБП:

$$z_k \leq \alpha_i x_{ki}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

$$\alpha_i x_{ki} - z_k \leq (1 - \sigma_{ki}) M_i^1, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{ki} = 1, k = \overline{1, n}, \quad (5)$$

Таблица 1. Исходные данные

y	x_1	x_2	x_3	x_4
264,9	371	18,76	22,894	304
254	348,5	19,5	17,536	290,4
244	337	19,2	15,022	295
240	319,2	19,3	16,869	285,5
233	309,4	19,2	11,835	283,8
192	289,4	19,7	9,598	270,6
157	290	19,9	10,407	268,9
158	289	19,8	13,1	277,8
166	300,6	20,4	13,9	294,5
172,4	307,1	20,2	13,8	299,4
145,8	266,3	21	18,5	261,9
164,3	278,2	20,8	25,6	275,5

$$\alpha_i \geq (1 - \gamma_i)N_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m \gamma_i = p_1,$$

$$t_k \geq \beta_j x_{kj}, \quad k = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$\beta_j x_{kj} - t_k \geq (\delta_{kj} - 1)M_j^2, \quad k = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^m \delta_{kj} = 1, \quad k = \overline{1, n}, \quad (9)$$

$$\beta_j \leq \mu_j N_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^m \mu_j = p_2, \quad (11)$$

$$\gamma_j + \mu_j = 1, \quad j = \overline{1, m}, \quad (12)$$

$$\alpha_0 + z_k + t_k + u_k - v_k = y_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (13)$$

$$u_k \geq 0, v_k \geq 0, z_k \geq 0, t_k \geq 0, \quad k = \overline{1, n}, \quad (14)$$

$$\sigma_{ki} \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (15)$$

$$\delta_{ki} \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (16)$$

$$\gamma_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (17)$$

$$\mu_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) + s_1 \sum_{i=1}^m \alpha_i - s_2 \sum_{j=1}^m \beta_j \rightarrow \min. \quad (19)$$

Здесь s_1 и s_2 – наперед заданные малые, а $M_i^1, M_i^2, i = \overline{1, m}$ – большие положительные числа,

$$N_j = 10 \max_{k=1, n} y_k / x_{kj}, \quad j = \overline{1, m}.$$

При этом

$$N_i \ll \min_{\substack{i=1, m \\ j=1, 2}} M_i^j.$$

Применим описанный выше подход для построения смешанной кусочно-линейной регрессионной модели (1) производства никеля в Российской Федерации. Введем следующие обозначения:

- y – объем производства первичного никеля, тыс. т;
- x_1 – объем добычи никеля из недр, тыс. т;
- x_2 – запасы никеля, млн т;
- x_3 – среднегодовые цены на рафинированный никель на Лондонской бирже металлов,

тыс. долл./т;

– x_4 – объем добычи сульфидной медно-никелевой руды, тыс. т.

В качестве информационной базы для моделирования используем данные государственной статистики за 2011–2022 гг. [12] (табл. 1).

Зададим мощность множеств I и J :

$$p_1 = p_2 = 2.$$

В результате решения задачи ЛБП (3)–(19) получим следующую модель:

$$y_k = -232,2 + \min\{1,4x_{k1}, 1,6x_{k4}\} + \max\{0,17x_{k2}, 0,26x_{k3}\} + \varepsilon_k, \quad k=1,12, \quad E = 7,1 \%. \quad (20)$$

Здесь E – средняя процентная ошибка. При этом составы множеств I и J оказались следующими:

$$I = \{1, 4\}, J = \{2, 3\}.$$

Отметим, что, судя по значению критерия адекватности E , модель (20) вполне может быть эффективно использована для решения прогнозных и аналитических задач, в частности, по аналогии с источником [13].

Выводы

В работе поставлена задача оценивания параметров смешанной кусочно-линейной регрессии и формирования составов индексных множеств, определяющих операции *min* и *max* в ее правой части. Разработана алгоритмическая схема, позволяющая в случае использования метода наименьших модулей свести эту задачу к задаче линейно-булева программирования. Построена смешанная кусочно-линейная регрессионная модель производства никеля в Российской Федерации.

Список литературы

1. Roshani, A. Mixed-model multi-manned assembly line balancing problem: a mathematical model and a simulated annealing approach / A. Roshani, F.N. Ghazi // *Assembly Automation*. – 2017. – Vol. 37. – No. 1. – P. 34–50.
2. Li, Z. Mathematical model and metaheuristics for simultaneous balancing and sequencing of a robotic mixed-model assembly line / Z. Li, M.N. Janardhanan, Q. Tang, P. Nielsen // *Engineering Optimization*. – 2018. – Vol. 50. – No. 5. – P. 877–893.
3. Garcia-Aleman, J. Mathematical modeling of nanofiltration membranes with mixed electrolyte solutions / J. Garcia-Aleman, J.M. Dickson // *Journal of Membrane Science*. – 2004. – Vol. 235. – No. 1–2. – P. 1–13.
4. Mosadegh, H. Stochastic mixed-model assembly line sequencing problem: Mathematical modeling and Q-learning based simulated annealing hyper-heuristics / H. Mosadegh, S.M.T. Fatemi Ghomi, G.A. Süer // *European Journal of Operational Research*. – 2020. – Vol. 282. – No. 2. – P. 530–544.
5. Kucukkoc, I. A mathematical model and artificial bee colony algorithm for the lexicographic bottleneck mixed-model assembly line balancing problem / I. Kucukkoc, K. Buyukozkan, S.I. Satoglu, D.Z. Zhang // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2019. – Vol. 30. – P. 2913–2925.
6. Bourdarias, C. A mathematical model for unsteady mixed flows in closed water pipes / C. Bourdarias, M. Ersoy, S. Gerbi // *Science China Mathematics*. – 2012. – Vol. 55. – P. 221–244.
7. Fitt, A.D. Mixed systems of conservation laws in industrial mathematical modelling motion / A.D. Fitt // *Surveys on Mathematics for Industry*. – 1996. – Vol. 6. – P. 21–25.
8. Rodado, D.N. A mathematical model for the product mixing and lot-sizing problem by considering stochastic demand / D.N. Rodado, J.W. Escobar, R.G. García-Cáceres, F.A.N. Atencio // *International Journal of Industrial Engineering Computations*. – 2017. – Vol. 8. – No. 2. – P. 237–250.
9. Mokhtarzadeh, M. A novel two-stage framework for reducing ergonomic risks of a mixed-model parallel U-shaped assembly-line / M. Mokhtarzadeh, M. Rabbani, N. Manavizadeh // *Applied Mathematical Modelling*. – 2021. – Vol. 93. – No. 10. – P. 597–617.
10. Носков, С.И. Программный комплекс построения некоторых типов кусочно-линейных регрессий / С.И. Носков, А.А. Хоняков // *Информационные технологии и математическое моделиро-*

вание в управлении сложными системами. – 2019. – № 3(4). – С. 47–55.

11. Носков, С.И. Некоторые формы кластерных кусочно-линейных регрессий / С.И. Носков // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2024. – № 4(24). – С. 41–44.

12. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii.

13. Носков, С.И. Эмпирический анализ некоторых свойств метода смешанного оценивания параметров линейного регрессионного уравнения / С.И. Носков, К.С. Перфильева // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 6. – С. 62–66.

References

10. Noskov, S.I. Programmnyy kompleks postroyeniya nekotorykh tipov kusochno-lineynykh regressiy / S.I. Noskov, A.A. Khonyakov // Informatsionnyye tekhnologii i matematicheskoye modelirovaniye v upravlenii slozhnymi sistemami. – 2019. – № 3(4). – S. 47–55.

11. Noskov, S.I. Nekotoryye formy klasternykh kusochno-lineynykh regressiy / S.I. Noskov // Informatsionnyye tekhnologii i matematicheskoye modelirovaniye v upravlenii slozhnymi sistemami. – 2024. – № 4(24). – S. 41–44.

12. O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'yevykh resursov Rossiyskoy Federatsii [Electronic resource]. – Access mode : https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii.

13. Noskov, S.I. Empiricheskiy analiz nekotorykh svoystv metoda smeshannogo otsenivaniya parametrov lineynogo regressionnogo uravneniya / S.I. Noskov, K.S. Perfil'yeva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2020. – № 6. – S. 62–66.

© С.И. Носков, С.В. Беляев, А.Р. Чекалова, А.П. Медведев, 2025

УДК 004.584

К.А. ПЕТРОВ, В.В. БЫКОВ, И.В. АХМЕТОВ

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРТИЗЫ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЧАТ-БОТА С РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: газовое оборудование; машинное обучение; рекомендательная система; чат-бот; *Excel*; *Python*; *Random Forest*; *SQLite*; *Telegram*.

Аннотация. В рамках данной статьи описывается применение чат-бота с рекомендательной системой на основе машинного обучения для оптимизации процесса экспертизы газового оборудования. Основной целью исследования является оценка эффективности использования внедренного чат-бота для процесса экспертизы газового оборудования. Методами исследования являются: разработка *Telegram* чат-бота, интегрированного с *SQLite* для хранения данных; создание модели машинного обучения на основе метода классификации *Random Forest* для воспроизведения рекомендательной системы по экспертизе газового оборудования; проведение сравнительного моделирования процессов экспертизы газового оборудования при помощи функциональных моделей *AS-IS* и *TO-BE*. В результате исследования было определено: чат-бот сократил время проведения экспертизы газового оборудования на 73 %, уменьшил время на составление отчетности по экспертизе газового оборудования на 91 %, время на проверку экспертизы газового оборудования сократилось на 94 %.

Процесс экспертизы газового оборудования является одним из важных процессов для любой компании, которая эксплуатирует газовое оборудование. Экспертиза газового оборудования позволяет в ходе проверки определять возможные неисправно-

сти и типы неисправности газового оборудования.

Одной из проблем, встречающихся в ходе экспертизы газового оборудования, являются низкая скорость экспертизы, долгое время составления отчетности и проверки результатов экспертизы.

С целью устранения неоптимизированных процессов экспертизы газового оборудования было принято решение о разработке и внедрении чат-бота, который будет принимать на вход параметры газового оборудования и на основании машинного обучения будет предоставлять рекомендательную систему по обнаружению самых вероятных дефектов газового оборудования.

Чат-бот разработан на языке программирования *Python*. Рекомендательная система чат-бота в ходе проведения экспертизы будет предоставлять инженеру типы конкретных неисправностей газового оборудования. С этой целью для машинного обучения необходимо выбрать модель классификации. Одной из самых популярных библиотек для модели классификации является *Random Forest* из пакета библиотек *Scikit-learn*.

Random Forest – мощный и гибкий алгоритм для задачи классификации, основанный на методе ансамблей, которые объединяют множество деревьев решений с целью повышения прогнозирования модели, а также для устранения переобучения модели [2].

Для хранения данных по экспертизе газового оборудования чат-бот использует базу данных *SQLite*, а также отчетность *Excel*.

Для оценки эффективности использования

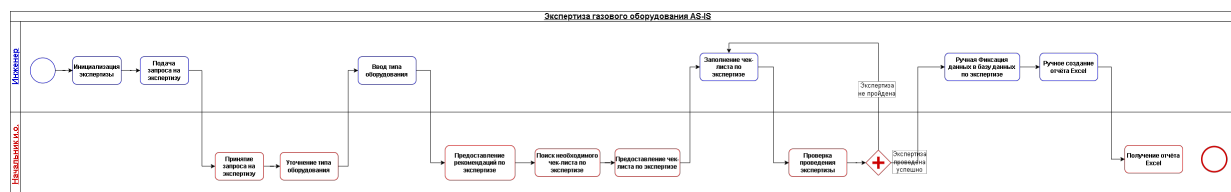


Рис. 1. Модель AS-IS процесса «Экспертиза газового оборудования»

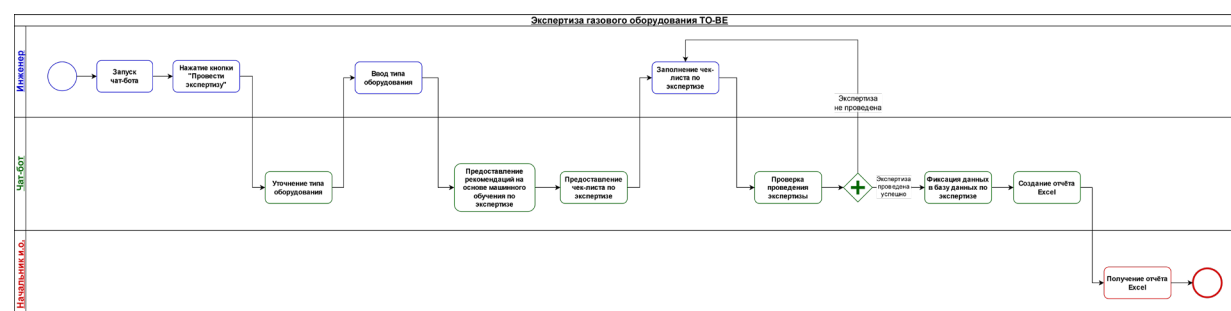


Рис. 2. Модель TO-BE процесса «Экспертиза газового оборудования»

внедренного чат-бота по оптимизации процесса экспертизы газового оборудования необходимо построение функциональных моделей *AS-IS* и *TO-BE*.

AS-IS – модель, описывающая бизнес-процессы в таком виде, в котором они происходят на данный момент. Данная модель позволяет выявить «узкие» места, которые могут быть обнаружены в ходе анализа данной модели [1].

TO-BE – целевая модель рассматриваемого бизнес-процесса, построенная после всех этапов оптимизации и внедрения изменения. Данная модель основывается на изменениях, принятых после анализа модели *AS-IS* [3].

На рис. 1 представлена функциональная модель *AS-IS* процесса «Экспертиза газового оборудования».

Бизнес-процесс экспертизы газового оборудования *AS-IS* начинается с инициализации экспертизы и подачи запроса на экспертизу начальнику инженерного отдела в течение двух минут. Далее начальник инженерного отдела принимает запрос на экспертизу и в течение одной минуты уточняет тип газового оборудования у инженера. Затем инженер вводит тип оборудования, и в течение двух минут начальник инженерного отдела предоставляет рекомендации по экспертизе газового оборудования.

Далее идет поиск необходимого чек-листа по экспертизе газового оборудования и предоставления чек-листа по экспертизе инженеру в течение двух минут времени. Потом в течение еще двух минут инженер заполняет чек-лист по экспертизе газового оборудования, после чего в течение трех минут начальник инженерного отдела проверяет результаты экспертизы газового оборудования. Если экспертиза газового оборудования составлена неправильно, в этом случае начальник инженерного отдела просит повторно провести экспертизу. Если экспертиза газового оборудования составлена правильно, тогда инженер за минуту вводит данные в базу данных по экспертизе и за две минуты создает отчет *Excel*, после чего начальник инженерного отдела получает отчет *Excel*. Время протекания процесса экспертизы газового оборудования *AS-IS* составляет 15 минут.

В ходе анализа функциональной модели *AS-IS* был выявлен ряд «узких» мест:

- ручная подача запроса на экспертизу газового оборудования;
- долгое ожидание времени рекомендаций по экспертизе;
- ручной поиск необходимого чек-листа для экспертизы;
- долгое время проверки экспертизы газового оборудования;
- ручной ввод данных в базу данных и

ручное составление отчета *Excel*.

Для устранения всех выявленных «узких» мест в модели *AS-IS* применим чат-бот для оптимизации процесса экспертизы оборудования.

На рис. 2 представлена функциональная модель *TO-BE* процесса «Экспертиза газового оборудования» после внедрения чат-бота.

Бизнес-процесс экспертизы газового оборудования *TO-BE* начинается с запуска чат-бота и нажатием кнопки «провести экспертизу» инженером, что происходит в течение 30 секунд. В течение 15 секунд чат-бот уточняет тип оборудования у инженера. Далее за 30 секунд чат-бот предоставляет рекомендации на основе машинного обучения по проведению экспертизы газового оборудования и за десять секунд чат-бот автоматически предоставляет необходимый чек-лист по экспертизе. В течение двух минут инженер заполняет чек-лист по экспертизе и чат-бот за 15 секунд проверяет правильность заполнения экспертизы оборудования, в случае неисправности чат-бот выдает ошибку инженеру. Далее чат-бот за десять секунд вносит данные по экспертизе в базу данных, а также

за десять секунд создает отчет *Excel* и отправляет его начальнику инженерного отдела. Процесс экспертизы *TO-BE* составляет четыре минуты.

В ходе анализа функциональной модели *TO-BE* были выявлены:

- автоматическая подача запроса на экспертизу газового оборудования;
- быстрое предоставление рекомендаций по экспертизе газового оборудования на основе машинного обучения;
- автоматический поиск необходимого чек-листа для экспертизы газового оборудования;
- быстрое ожидание проверки экспертизы газового оборудования;
- автоматический ввод данных в базу данных и ручное составление отчетности *Excel*.

Таким образом, внедрение чат-бота способствует сокращению времени проведения экспертизы газового оборудования на 73 %. Оно уменьшило время на составление отчетности по экспертизе газового оборудования на 91 % и сократило время на проверку экспертизы газового оборудования на 94 %.

Список литературы

1. Модель AS IS: описание, сравнение с моделью TO BE // Модель AS IS: описание, сравнение с моделью TO BE [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://crmgroup.ru/glossary/model-as-is>.
2. Пример использования Random Forest Classifier // Пример использования Random Forest Classifier [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sky.pro/wiki/python/primer-ispolzovaniya-random-forest-classifier>.
3. Что такое As is и To be в бизнес-процессах // Что такое As is и To be в бизнес-процессах [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://skyeng.ru/it-industry/management/chto-takoe-as-is-i-to-be-v-biznes-processah>.
4. Быков, В.В. Применение чат-бота Telegram для анкетирования и оценки предпочтений клиентов компании ООО «Метта»: исследование и анализ / В.В. Быков, И.В. Ахметов // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 6(144). – С. 26–29.

References

1. Model' AS IS: opisaniye, sravneniye s model'yu TO BE // Model' AS IS: opisaniye, sravneniye s model'yu TO BE [Electronic resource]. – Access mode : <https://crmgroup.ru/glossary/model-as-is>.
2. Primer ispol'zovaniya Random Forest Classifier // Primer ispol'zovaniya Random Forest Classifier [Electronic resource]. – Access mode : <https://sky.pro/wiki/python/primer-ispolzovaniya-random-forest-classifier>.
3. Chto takoye As is i To be v biznes-protsessakh // Chto takoye As is i To be v biznes-protsessakh [Electronic resource]. – Access mode : <https://skyeng.ru/it-industry/management/chto-takoe-as-is-i-to-be-v-biznes-processah>.

4. Bykov, V.V. Primeneniye chat-bota Telegram dlya anketirovaniya i otsenki predpochteniy klijentov kompanii OOO «Metta»: issledovaniye i analiz / V.V. Bykov, I.V. Akhmetov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 6(144). – S. 26–29.

© К.А. Петров, В.В. Быков, И.В. Ахметов, 2025

УДК 65.011.56

*Ю.А. ЖАРИНОВ, С.В. ГАВРИЛОВ, О.А. БУЛАНКИНА**Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават*

КОНВЕРТЕР ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОТОКОЛОВ

Ключевые слова: конвертация; передача данных; преобразование; промышленные протоколы; совместимость; структура.

Аннотация. Статья посвящена разработке и применению конвертеров промышленных протоколов для обеспечения совместимости между различными системами и устройствами в промышленных предприятиях. Целью исследования является изучение принципов работы конвертеров промышленных протоколов. Для достижения поставленной цели выделены задачи: изучить проблему несовместимости протоколов, проанализировать структуру и классификацию конвертеров, рассмотреть архитектуру работы конвертера. Гипотеза исследования: если использовать программные конвертеры промышленных протоколов, способные автоматически адаптировать формат данных между различными системами, то можно повысить совместимость оборудования, сократить ошибки передачи данных и снизить затраты на интеграцию информационных систем в промышленности. Среди применяемых методов исследования можно выделить анализ научной литературы, сравнительный анализ промышленных протоколов, моделирование программного конвертера.

Введение

В современном мире в промышленности активно используются автоматизированные системы управления технологическими процессами, которые обеспечивают эффективное управление оборудованием, сбор данных и их анализ. Однако такой подход к управлению производственными процессами также приводит к возникновению проблемы несовместимо-

сти промышленных протоколов, используемых разными устройствами и информационными системами. Совместимость протоколов на предприятии необходима для обеспечения взаимодействия между различными компонентами информационной системы. На рис. 1 представлена схема совместимости протоколов между компонентами системы.

Программируемый логический контроллер, привод и SCADA-система объединяются в общую систему предприятия с помощью промежуточных устройств для преобразования протоколов. Это позволяет обеспечивать единую информационную среду, несмотря на использование различного оборудования и различных промышленных протоколов передачи данных. Без единого стандарта обмена данными оборудование разных производителей может работать некорректно, что приводит к задержкам в производственном процессе, потере информации и увеличению затрат на интеграцию систем [6].

Для решения данной проблемы активно используются конвертеры протоколов. Их задача – преобразование формата данных для обеспечения корректного обмена данными между устройствами и системами без возникновения ошибок и потери данных. В статье представлены методы преобразования данных и разработка упрощенной модели программного конвертера.

Основная часть

Промышленные протоколы автоматизации – это стандартизированные наборы правил, определяющие формат и порядок обмена данными между устройствами и системами в промышленности. Они обеспечивают передачу информации между датчиками, контроллерами, операторами и другими

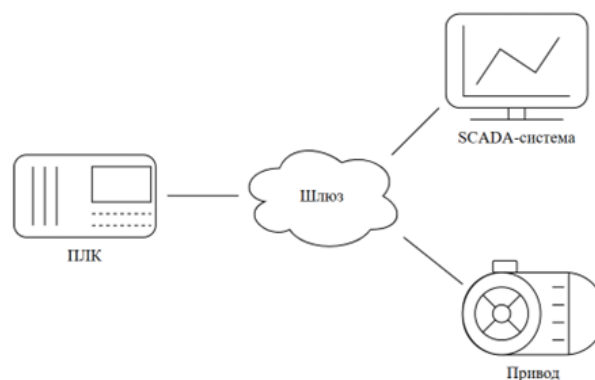


Рис. 1. Совместимость протоколов на предприятии

Таблица 1. Описание основных промышленных протоколов

Характеристика	Протоколы		
	<i>Modbus</i>	<i>Profinet</i>	<i>EtherCAT</i>
Структура	Пакет данных состоит из двух частей: код функции, адрес устройства	Пакет данных включает заголовки <i>Ethernet</i> и полезную нагрузку	Состоит из заголовка и нескольких команд датаграмм для чтения и записи данных
Скорость передачи данных	До 115 Кбит/с (<i>Modbus RTU</i>). До 100 Мбит/с (<i>Modbus TCP</i>)	100 Мбит/с	100 Мбит/с
Максимальное количество устройств	247 (<i>Modbus RTU</i>). 65 536 (<i>Modbus TCP</i>)	Несколько тысяч	Несколько тысяч
Область применения	Системы промышленной автоматизации (интеллектуальные устройства в сети, например, контроллеры и датчики, <i>SCADA</i> -системы)	Различные области промышленной автоматизации (энергетика, транспорт, производственная автоматизация, процессная автоматизация, складская логистика)	Различные области автоматизации и робототехники (промышленные контроллеры, системы управления движением, автоматизация станков и оборудования)

компонентами автоматизированных систем. Наиболее распространенными промышленными протоколами являются *Modbus*, *Profinet*, *EtherCAT* [2]. Их описание представлено в табл. 1 [1; 3; 4].

Широкое разнообразие промышленных протоколов обусловлено различными требованиями, которые могут меняться в зависимости от области применения и особенностей конкретных устройств. Вследствие проблемы несовместимости протоколов могут возникнуть ошибки, способные значительно снизить эффективность предприятия. В качестве примера можно выделить следующие возможные ошибки,

связанные с несовместимостью промышленных протоколов:

- искажение и потеря данных;
- не распознавание данных;
- замедление или сбой в передаче [6].

Конвертер промышленных протоколов представляет собой аппаратное или программное решение, преобразующее данные между различными протоколами для обеспечения их совместимости. Конвертеры промышленных протоколов находят свое применение в различных сферах (например, *SCADA*-системы, Интернет вещей, системы мониторинга и управления и т.д.). Использование конвертеров помогает

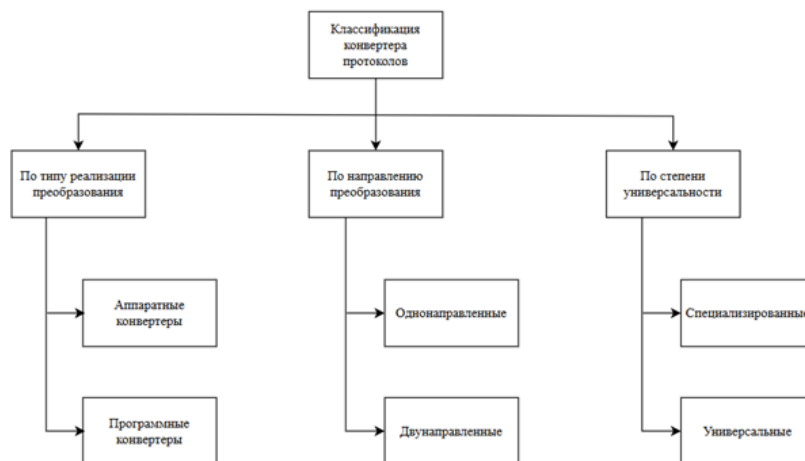


Рис. 2. Классификация конвертеров протоколов



Рис. 3. Схема взаимодействия блоков конвертера

предприятиям поддерживать единую информационную среду, что обеспечивает конкурентоспособность предприятия [8].

Конвертер протоколов можно классифицировать по различным критериям. Классификация конвертеров представлена на рис. 2.

Принцип работы программного конвертера протоколов можно разделить на несколько этапов.

1. Получение данных в исходном протоколе.
2. Разбор структуры данных, анализ формата данных.
3. Преобразование в структуру целевого протокола.
4. Формирование выходного пакета, содержащего готовые данные [10].

Для реализации всех этапов процесса преобразования протоколов в конвертере выделяются несколько блоков, взаимодействующих друг с другом (рис. 3).

Для наглядной демонстрации работы представленных блоков приведен упрощенный программный код на языке программирования *Python*, показывающий структуру программно-

го конвертера между протоколами *Modbus* и *Profinet*:

```

# Блок получения данных Modbus
modbus_registers = modbus_data.get(«registers», {})
function_code = modbus_data.get(«function_code»)

# Блок анализа структуры данных
analyzed_data = {"function": function_code, "register_count": len(modbus_registers)}

# Блок преобразования
profinet_data = {"module_id": "станция_1", "slot_id": "модуль_входов_1"}
profinet_data["process_values"] = [{"register": reg, "value": value} for reg, value in modbus_registers.items()]

# Блок формирования выходного пакета Profinet
profinet_packet = {"profinet_header": {"device_name": profinet_data["module_id"]}, "data": profinet_data}
return profinet_packet [9].
    
```

С продолжающимся развитием информационных технологий автоматизация промыш-

ленных процессов также активно развивается. Создается все больше перспектив в развитии конвертеров промышленных протоколов. Можно выделить следующие направления развития программных конвертеров.

1. Повышение безопасности.
2. Облачные решения.
3. Использование искусственного интеллекта.
4. Поддержка стандартов *Industry 4.0*.

Такие перспективы развития конвертеров промышленных протоколов открывают возможности для создания улучшенных решений

с использованием новых подходов и технологий [7].

Заключение

Конвертеры промышленных протоколов играют значимую роль в обеспечении совместимости различных автоматизированных систем и устройств и создании единой информационной среды. Использование конвертеров позволяет предприятиям поддерживать эффективность всех процессов и оставаться конкурентоспособными.

Список литературы

1. EtherCAT [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ethercat.org>.
2. Modbus, Profinet, EtherCAT: обзор протоколов промышленной автоматизации / автор: UnitMC Промышленные компоненты, 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dzen.ru/a/ZuE_ppHV2lLd9kqp.
3. Modbus [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://modbus.org>.
4. Profinet [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://profinet.com>.
5. ГОСТ Р ИСО 15745-5-2010 «Системы промышленной автоматизации и интеграционная среда открытых систем. Часть 5».
6. Журанов, С.А., Туманов А.А. Обзор протоколов получения данных с промышленного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://intechnology.ru/media/articles/obzor-protokolov-polucheniya-dannyh-s-promyshlennogo-oborudovaniya>.
7. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник / В. Олифер, Н. Олифер, 2020.
8. Титаев, А.А. Промышленные сети: учебное пособие / А.А. Титаев; Мин-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2020. – 124 с.
9. Харитонов, А. Компьютерные сети и протоколы передачи данных: учебное пособие / А. Харитонов, А. Джаманкулов. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2023. – 136 с.
10. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы и исходные коды на языке C / Б. Шнайер. – Диалектика, 2022.

References

1. EtherCAT [Electronic resource]. – Access mode : <https://ethercat.org>.
2. Modbus, Profinet, EtherCAT: obzor protokolov promyshlennoy avtomatizatsii / avtor: UnitMC Promyshlennyye komponenty, 2024 [Electronic resource]. – Access mode : https://dzen.ru/a/ZuE_ppHV2lLd9kqp.
3. Modbus [Electronic resource]. – Access mode : <https://modbus.org>.
4. Profinet [Electronic resource]. – Access mode : <https://profinet.com>.
5. GOST R ISO 15745-5-2010 «Sistemy promyshlennoy avtomatizatsii i integratsionnaya sreda otkrytykh sistem. Chast' 5».
6. Zhuranov, S.A., Tumanov A.A. Obzor protokolov polucheniya dannykh s promyshlennogo oborudovaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://intechnology.ru/media/articles/obzor-protokolov-polucheniya-dannyh-s-promyshlennogo-oborudovaniya>.
7. Olifer, V. Komp'yuternyye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly: uchebnik / V. Olifer, N. Olifer, 2020.
8. Titayev, A.A. Promyshlennyye seti: uchebnoye posobiye / A.A. Titayev; Min-vo nauki i

vysshego obrazovaniya RF. – Yekaterinburg : Izd-vo Ural'skogo un-ta, 2020. – 124 s.

9. Kharitonov, A. Komp'yuternyye seti i protokoly peredachi dannykh: uchebnoye posobiye / A. Kharitonov, A. Dzhambankulov. – Sankt-Peterburg : Universitet ITMO, 2023. – 136 s.

10. Shnayyer, B. Prikladnaya kriptografiya. Protokoly, algoritmy i iskhodnyye kody na yazyke C / B. Shnayyer. – Dialektika, 2022.

© Ю.А. Жаринов, С.В. Гаврилов, О.А. Буланкина, 2025

УДК 004.041

В.Л. КОДАНЕВ, О.Д. ХРАПКОВА

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧЕК ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ключевые слова: защищаемое помещение; звукоизоляция; нарушитель; радиозакладка; служба безопасности; системы защиты информации; технические каналы утечки информации.

Аннотация. Целью исследования является повышение защищенности корпоративной информации предприятия. Для достижения поставленной цели была решена задача разработки системы защиты информации, включающая комплекс мер по обнаружению, локализации и изъятию закладных устройств; повышению звукоизоляции защищаемого помещения и ограничению доступа в него. Гипотеза: путем применения комплекса мер повысится защищенность корпоративной информации предприятия за счет своевременного обнаружения и нейтрализации возможных ее утечек по техническим каналам в защищаемых помещениях. Методы исследования: анализ, сравнение, обобщение. По результатам исследования сформулированы рекомендации по защите корпоративной информации предприятия путем применения комплекса технических средств и организационных мероприятий.

Введение

В современных реалиях информационные ресурсы остаются одной из самых важных составляющих экономического развития. Использование информационных систем и технологий, с одной стороны, повышает возможности, способствующие развитию бизнеса, а с другой стороны, создает условия для монополизации товарных рынков и недобросовестной конкуренции [1]. Следовательно, главной задачей любой организации должна быть защита сво-

их корпоративных данных. В настоящее время информацию можно продавать как товар, а также есть возможность использовать информацию как услугу. Все это позволяет владельцу информационных данных получать неплохую прибыль. В то же время конкурирующие предприятия будут стремиться украсть данные с помощью использования любых незаконных способов [2]. Поэтому для обсуждения информации ограниченного доступа (конференций, переговоров и т.п.) используются специально выделенные помещения (служебные кабинеты, конференц-залы и т.д.), которые являются защищаемыми помещениями (ЗП), т.е. имеют более высокую степень информационной защиты [3]. Это объясняется человеческим фактором. В связи с этим переговорные и другие специальные помещения (СП) играют важнейшую роль в защите информации. Своевременное обнаружение возможных утечек информации и их нейтрализация теперь имеет актуальное значение для развития любой организации.

Основная часть

Для определения уровня возможной утечки информации необходимо учитывать: из каких строительных материалов выполнено СП, его расположение относительно других помещений, важность и уровень конфиденциальности используемой информации, а также зонирование помещения и расстановку мебели. В результате этого основной задачей являются построение и оценка модели помещения. Конструкцию помещения в основном разделяют на два критерия: расстановка мебели в помещении и окружение специализированного/выделенного помещения на предмет наличия возможных мест для прослушивания. Помимо этого, как показывает практика, самым слабым и легко доступным звеном является человек. Используя

разные ухищрения (взятки, запугивания и др.), украсть информацию предприятия через сотрудника организации довольно несложно. При проведении совещания основная информация предоставляется с использованием человеческой речи или на бумажных носителях. Человеческая речь легко воспринимается на слух, так как мысль, по мнению специалистов, доходит наиболее точно и подробно, а также является самой простой в использовании.

Каналы утечки информации могут быть совершенно различны и формируются на основе трех компонентов: источника сигнала или носителя информации, среды распространения сигнала и средства для технической записи.

На акустическую утечку информации по техническим каналам приходится до 15 % от всех видов утечек. В простейшем случае нарушитель, находясь в смежном помещении или коридоре, используя специальное техническое средство, может приложить ухо к стене «специализированного» помещения и подслушать переговоры по конфиденциальным вопросам [4]. Еще одним видом каналов утечки могут являться виброакустические каналы, состоящие из тех же элементов, что и акустические, а именно объекта сигнала, среды распространения (несущие стены, перекрытия, оконные рамы, каналы вентиляции и т.д.) и нарушителя, принимающего данные с помощью устройства нелегального съема виброакустической информации. Защита от утечек по данному каналу может быть актуальна для небольшого количества предприятий, когда информация не может быть получена более простым и доступным способом.

Самым распространенным способом перехвата информации является использование подслушивающих устройств в виде закладок. Основной сложностью при защите СП является попытка устранения всех возможных каналов утечки информации, так как каждый вид канала утечки требует своего индивидуального решения, а это, в свою очередь, требует значительных финансовых и материальных затрат, что заставляет предприятие в первую очередь обращать внимание на наиболее вероятные способы перехвата информации в рассматриваемых помещениях. Таким образом, предприятие достаточно часто не может защитить свои СП в полном объеме.

Первостепенной задачей комплекса мероприятий по защите информации является исключение вероятности присутствия лиц, не

имеющих полномочий на пребывание в защищаемом помещении. Сбор сведений по допуску каждого участника собрания должен быть обязательным пунктом защиты СП.

Защита информации включает в себя технические меры по трем главным направлениям:

- 1) поиск и изъятие закладных устройств;
- 2) подавление сигналов с речевой информацией за пределами СП;
- 3) увеличение звукоизоляции помещения.

Обнаружение и локализация закладных устройств возможна еще до начала совещания. Для исключения незаконного прослушивания посредством радиозакладных устройств следует провести осмотр СП с использованием средств обнаружения радиозакладок, который должен осуществляться сотрудниками службы безопасности предприятия [5]. После проверки СП необходимо таким же образом осмотреть и соседние помещения, прилегающие к нему. Это снизит риск получения информации через стены, перегородки, окна и двери. После анализа потенциальных угроз и каналов утечки информации стоит опечатать помещение и никого в него не пускать. Если же появится такая необходимость, то распоряжением руководителя предприятия следует назначить работника(ов) для осмотра и/или выполнения требуемых работ под контролем сотрудников службы безопасности.

Помимо проверки помещения до совещания, его необходимо осматривать во время и после проведенного мероприятия с целью выявления подслушивающих устройств и радиозакладок. При проверке помещения в процессе конфиденциального совещания необходимо проверять и одежду представителей организаций с целью снижения вероятности использования закладок под одеждой участников совещания. В случае обнаружения закладки во время проведения переговоров неправильно будет заканчивать их и начинать заниматься поиском правонарушителя. Это может создать нерабочую атмосферу у участников, вызвать напряженность и даже подозрительность друг к другу, а злоумышленника может насторожить и спровоцировать избавиться от закладки. Для этого надо использовать аппаратуру, позволяющую наиболее точно определить местоположение закладки и ее потенциального владельца. Если не удалось обнаружить и изъять закладку до проведения, то во время совещания проще воспользоваться устройствами помех, которые

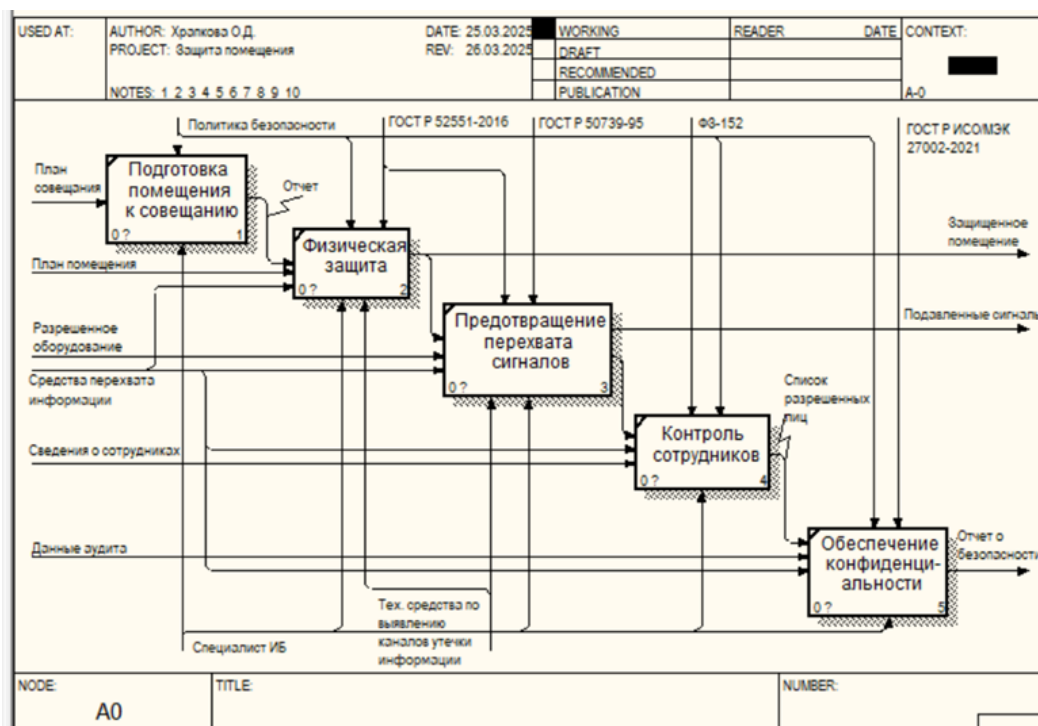


Рис. 1. IDEF0-модель

заглушат акустические волны и микрофон не сможет качественно передавать информацию. Еще одним устройством для поиска микрофона (закладки) является обнаружитель диктофонов, который состоит из нескольких датчиков, способных обнаружить микрофон с высокой точностью.

Помимо использования микрофонов, информацию можно получить через незащищенные участки комнаты, например, через окна или двери. В связи с этим рекомендуется установить шумопоглощающие шторы или жалюзи на окна. Это может уменьшить риск получить информацию через оконные проемы с помощью подслушивающих устройств или же с помощью инфракрасных или лазерных систем снятия информации [6].

При организации временного помещения (ВП) все технические средства, которые создают дополнительные каналы утечки информации (системы телевидения и времени, телефонная связь, бытовая техника и т.д.), должны демонтироваться. Во время проведения конфиденциальных совещаний несертифицированные технические средства необходимо отключать от соединительных линий и источников электропитания [7]. Эти устройства могут быть моди-

фицированы или содержать скрытые функции, позволяющие осуществлять несанкционированную запись и передачу информации [8]. Кроме того, даже выключенные устройства могут генерировать побочные электромагнитные излучения, представляющие угрозу утечки данных. Следовательно, отключение таких технических средств позволит снизить риски при минимальных экономических вложениях.

В ходе анализа возможных каналов утечки информации и методов противодействия были выделены ключевые этапы, обеспечивающие максимальную безопасность переговорного процесса. Эти этапы легли в основу IDEF0-модели, представленной на рис. 1, которая наглядно показывает взаимосвязь и последовательность действий по защите информации в специализированных помещениях.

Для надежной защиты информации на предприятиях на постоянной основе должны решаться задачи по поиску каналов утечки информации, контролю сотрудников, расследованию инцидентов информационной безопасности, контролю съемных носителей.

В статье рассмотрены основные способы обеспечения защиты информации в СП, так как различные виды каналов утечек информации

требуют различных решений по их нейтрализации.

Вывод

Все способы защиты специализированных помещений, рассмотренные в данной

статье, являются достаточно эффективными. При их использовании защита СП существенно повышается, поэтому ими не стоит пренебрегать. Также они не требуют значительных финансовых затрат и не мешают персоналу выполнять свои обязанности.

Список литературы

1. Вахмянина, Е.В. Применение информационных технологий в антимонопольном регулировании на цифровых рынках / Е.В. Вахмянина // Молодой ученый. – 2021. – № 45(387). – С. 42–45.
2. Алексеенко, А.П. Дело Alibaba Group и антимонопольное регулирование платформ электронной коммерции: опыт КНР / А.П. Алексеенко, Ц. Сунь // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2022. – № 7. – С. 85–93.
3. Дворянkin, С.В. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам / С.В. Дворянkin, Ю.К. Макаров, А.А. Хорев // Защита информации. Инсайд. – 2007. – № 2. – С. 18–25.
4. Кульмамиров, С.А. Исследования технических каналов утечки информации для оценки защищенности выделенного помещения / С.А. Кульмамиров, И.С. Бериков // Вестник науки и образования. – 2020. – № 13-2(91). – С. 5–9.
5. Бочкарева, В.А. Система обеспечения защиты информации в переговорной комнате / В.А. Бочкарева // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. – 2022. – № 34. – С. 953–959.
6. Карцан, И.Н. Обеспечение защиты информации от утечки по акустическому каналу / И.Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии. – 2024. – Т. 4. – № 1. – С. 176–184.
7. Дорошенко, Ю.А. Использование звукоизоляционных материалов в оборудовании выделенных помещений (в контексте обеспечения экономической безопасности предприятий) / Ю.А. Дорошенко, Ю.А. Ковтун, В.М. Баранов, Р.М. Шевцов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 11. – С. 251–255.
8. Коданев, В.Л. Защищенная автоматизированная информационная система на базе Astra Linux и PostgreSQL / В.Л. Коданев, Д.С. Ефремов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 8(134). – С. 52–55.

References

1. Vakhmyanina, Ye.V. Primeneniye informatsionnykh tekhnologiy v antimonopol'nom regulirovaniy na tsifrovyykh rynkakh / Ye.V. Vakhmyanina // Molodoy uchenyy. – 2021. – № 45(387). – S. 42–45.
2. Alekseyenko, A.P. Delo Alibaba Group i antimonopol'noye regulirovaniye platform elektronnoy kommertsii: opyt KNR / A.P. Alekseyenko, TS. Sun' // Vestnik Universiteta imeni O.Ye. Kutafina (MGYUA). – 2022. – № 7. – S. 85–93.
3. Dvoryankin, S.V. Obosnovaniye kriteriyev effektivnosti zashchity rechevoy informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalām / S.V. Dvoryankin, YU.K. Makarov, A.A. Khorev // Zashchita informatsii. Insayd. – 2007. – № 2. – S. 18–25.
4. Kul'mamirov, S.A. Issledovaniya tekhnicheskikh kanalov utechki informatsii dlya otsenki zashchishchennosti vydelennogo pomeshcheniya / S.A. Kul'mamirov, I.S. Berikov // Vestnik nauki i obrazovaniya. – 2020. – № 13-2(91). – S. 5–9.
5. Bochkareva, V.A. Sistema obespecheniya zashchity informatsii v peregovornoy komnate / V.A. Bochkareva // Sovremennyye problemy lingvistiki i metodiki prepodavaniya russkogo yazyka v VUZe i shkole. – 2022. – № 34. – S. 953–959.
6. Kartsan, I.N. Obespecheniye zashchity informatsii ot utechki po akusticheskomu kanalu /

I.N. Kartsan // Sovremennyye innovatsii, sistemy i tekhnologii. – 2024. – T. 4. – № 1. – S. 176–184.

7. Doroshenko, YU.A. Ispol'zovaniye zvukoizolyatsionnykh materialov v oborudovanii vydelennykh pomeshcheniy (v kontekste obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiy) / YU.A. Doroshenko, YU.A. Kovtun, V.M. Baranov, R.M. Shevtsov // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. – 2017. – № 11. – S. 251–255.

8. Kodanov, V.L. Zashchishchennaya avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema na baze Astra Linux i PostgreSQL / V.L. Kodanov, D.S. Yefremov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 8(134). – S. 52–55.

© В.Л. Коданев, О.Д. Храпкова, 2025

UDC 00.008

*M.D. PROZOROV, O.A. MOROKHOVA**Vladimir State University, Vladimir*

INFORMATION PROTECTION: STRATEGIES AND PROCESSES

Keywords: cybersecurity; data; information; protection; security; vulnerability.

Abstract. The purpose of the article is to review typical strategies and processes to protect systems and information stored and processed in the systems of organizations to make sure that the information cannot be easily stolen, damaged or encrypted by cybercriminals. The research tasks are to consider ways to minimize cybersecurity threats and ensure information protection; to analyze security audit methods that allow assessing the effectiveness of the overall security of the organization regardless of regulatory requirements; to analyze data on social engineering in terms of ways of penetrating the system. The research methods included the analysis of data from scientific sources. The achieved results of the study allowed formulating ways to minimize risks for information protection.

In today's technological world, information is considered a particularly important resource. As we move further into the future, our technologies evolve to become more powerful and cheaper, they absorb, store, process and produce large amounts of information, forcing private and public enterprises to use computer systems to store and process information, otherwise it will be impossible to stay afloat and compete with the rest of the world [2].

As technology advances information is becoming more valuable every day; however, as with everything valuable, it becomes a target for attacks to gain unauthorized access by those with malicious intent, which can be especially dangerous if the information contains business secrets, military or state secrets.

Minimizing cybersecurity threats and ensuring information security includes frequently conducting security audits and assessments of systems

to find existing vulnerabilities and eliminating them by updating software, adding additional security layers such as firewalls and antivirus software, conducting training programs for employees on information hygiene, or through other means. Cybercriminals and cybersecurity enthusiasts are constantly looking for new vulnerabilities in software and finding other methods of penetrating systems [1].

There are several methods to achieve the stated goals. GAP analysis involves a systematic assessment of how the current security state of the organization differs from the desired state or some industry standard, such as ISO 27001, cybersecurity guidelines such as NIST (National Institute of Standards and Technology) in the field of cybersecurity, or CIS (Critical Information Security). Using this type of assessment helps to ensure that the assessed system complies with the industry best practices in the field of cybersecurity, and if it does not, it helps to more easily build an effective plan according to these standards to make the system more secure in accordance with these standards and guidelines, in other words, "closing the gaps". An example of how this method is useful can be a situation when a company uses weak/outdated encryption algorithms that can be easily deciphered by attackers through primitive methods, such as, for example, brute force. Such a situation can be avoided if the company follows standards such as ISO/IEC 18033 – a standard describing encryption systems to ensure data confidentiality [4].

A compliance audit verifies that an organization and its systems comply with legal, regulatory, and industry standards, such as GDPR, HIPAA, or PCI DSS. Unlike broader security assessments, a compliance audit focuses on external requirements to avoid fines, legal action, or reputational damage. Performers of this method examine documentation, processes, and controls to ensure that there are no discrepancies across specified criteria. For ex-

ample, a healthcare organization might undergo a HIPAA audit to validate the privacy of patient data. However, compliance alone is not enough for comprehensive security; it is only a foundation in an overall security strategy. A security audit evaluates the effectiveness of an organization's overall security posture, regardless of regulatory requirements. This method includes examining access controls, incident response protocols, network architecture, and physical security. Performed by internal or external providers, audits often include staff interviews, system testing, and policy reviews. A financial institution, for example, can audit its firewall configuration and user privilege settings to prevent unauthorized access. The findings can improve asset protection mechanisms against evolving threats [3].

Penetration testing is one of the most important methods of ensuring information security, as it allows finding real weaknesses in various parts of the system that can be used with malicious intent by hackers to break into the system and gain access to the information stored in it. It is usually performed by external contractors or individuals called ethical or white hat hackers or penetration testers. A typical scenario of this type of assessment can be expressed in the tester using tools such as NMAP to scan ports to find services that listen on specific ports, their versions, operating systems and their versions, then he looks for vulnerabilities for the found services of a specific version, such vulnerabilities are marked as CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) and are provided by the MITRE organization. There are already ready-to-use exploits implemented based on CVE, they are located in the database of tools such as Metasploit. NMAP and Metasploit greatly simplify the penetration testing process, but in companies with a serious level of cybersecurity, this is often not enough and more creative and specific approaches are required, for example, manual research of vulnerabilities in the business logic of the company's web services through tools such as BURP Suite. After testing is completed, the performers write a report that reflects all the vulnerabilities found and a description of the process of their use, so that the company can eliminate them before they are found and used by hackers [6].

Ad-hoc testing in cybersecurity involves improvised approaches and techniques without a clear structure that help to find system weaknesses that are not revealed by standard penetration test-

ing methods and routines. This method requires significant professional experience from the performer, since this type of assessment relies heavily on human intuition and creativity to test in special contexts. For example, a company has a web service with a user interface in which an employee needs to authenticate, after which he will be able to select and open a document from a drop-down menu. However, when he selects a document, a request will be generated indicating the path to the REST API functionality with the document identifier as a parameter and at the same time not containing a token or other means of identity verification, since it is implied that the requests will be sent when interacting with the interface in which the user has already been authenticated. Such an organization of the process contains a vulnerability that allows a hacker to enumerate document identifiers, for example, from 0 to 9 999 and gain access to all existing documents for these requests. To protect against such attacks, it is necessary to add an additional parameter to each request, such as a token, and add a server-side check to ensure that the request is made by an authorized person [5].

A company's information is one of its most important assets. Technical and regulatory aspects play an important role in ensuring information security, but they are not enough. It is also necessary to consider social aspects that influence the behavior of employees in the field of information security, such as motivation, values, culture and neutralization.

These issues are addressed in the field of social engineering. Social engineering is the art of exploiting human psychology to penetrate a system. According to PurpleSec, in 2024, 41 % of cybersecurity incidents in higher education were caused by social engineering. Small businesses suffered from the results of social engineering in 43 % of cybersecurity incidents. Social engineering is a broad term that includes more specific tactics such as phishing, smishing, vishing, whaling [7].

Fishing refers to various methods of verifying sensitive data, such as bank account numbers, through a fraudulent offer via email or website, where the hideout is masquerading as a legitimate company or a known person in a management position. Smishing is a combination of the words "SMS" and "fishing". In smishing, cybercriminals send text messages to trick the victim into shar-

ing personal or financial information, clicking on priority links, or downloading traditional software or an application. Vishing or voice phishing used fraudulent phone calls to obtain sensitive information, such as login credentials, credit card numbers, or banking details. Whaling is a method by which cybercriminals impersonate high-ranking officials of an organization and directly attack high-ranking or other important individuals within the organization in order to steal money or confidential information or gain access to their computer systems for criminal purposes.

Social engineering can also involve identity theft, such as posing as a member of the security department or someone in management. Such actions target the victim's emotions, putting pressure on them to prevent reflection, making the victim more likely to make hasty mistakes, such as opening malicious files, or providing confidential information to the attacker.

Protecting against such attacks is a difficult task, since people are more difficult to control than computer systems. But to minimize the risks, it is important to have roles for each employee, with each role having access only to those resources that are directly necessary for the employee to perform

their job responsibilities. Also, it is necessary to educate staff about possible attack patterns, conduct individual conversations and simulate similar attacks within the organization to collect statistics and assess risks, and identify specific individuals who are particularly susceptible to this type of attack to improve their personal cybersecurity hygiene.

Thus, information security is a variety of strategies and processes to prevent unauthorized access to information systems, as well as the use, damage, modification or destruction of information stored in them. It is very important to regularly conduct security risk assessments of systems that are involved in the processing, storage and transmission of sensitive information to ensure that the system complies with the best and latest cybersecurity practices, thereby minimizing the risk of losing control over information. Information security is a comprehensive process that includes technical audits, as well as additional programs to identify potential threats in the behavior of employees in the field of information security, as well as tools such as awareness programs that can be used to change the behavior of employees in the field of information security.

Список литературы

1. Горелик, А.В. Способы устранения уязвимостей в информационной системе // А.В. Горелик, Е.А. Анисимова, С.А. Король, А.Г. Чебан // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 3. – С. 49–51.
2. Сагидова, М.Л. Проблемы и пути обеспечения информационной безопасности промышленных предприятий // М.Л. Сагидова // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 11. – С. 47–51.
3. Castro, J. From Reactive to Proactive: The Critical Need for a Cyber Risk Operations Center (CROC) / J. Castro [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.researchgate.net/publication/388194441>.
4. Jonathan, G.M. Untangling the Link Between Digital Transformation and Information Security Management / G.M. Jonathan, E. Perjons, L. Rusu // G.M. Jonathan, E. Perjons, L. Rusu // Procedia Computer Science. – 2024. – Vol. 239. – P. 575–582.
5. Yazdanmehr, A. Peers matter: The moderating role of social influence on information security policy compliance // A. Yazdanmehr, J. Wang, Z. Yang // Information Systems Journal. – 2020. – No. 30. – P. 791–844.
6. Landoll, D. The Security Risk Assessment Handbook / D. Landoll. – CRC Press, 2011. – P. 515.
7. The University of Queensland. Why Information Protection is Important // The University of Queensland [Electronic resource]. – Access mode : <https://data.uq.edu.au/data-and-information-essentials/why-information-protection-important>.

References

1. Gorelik, A.V. Sposoby ustraneniya uyazvimostey v informatsionnoy sisteme // A.V. Gorelik,

Ye.A. Anisimova, S.A. Korol', A.G. Cheban // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 3. – S. 49–51.

2. Sagidova, M.L. Problemy i puti obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti promyshlennykh predpriyatiy // M.L. Sagidova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 11. – S. 47–51.

© M.D. Prozorov, O.A. Morokhova, 2025

УДК 665.6

А.Р. ГАЙСИНА, О.Б. ПРОЗОРОВА, Н.А. ЛИХАЧЕВА

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

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БУТЕНА-1 ИЗ БУТАН-БУТАДИЕНОВОЙ ФРАКЦИИ ПИРОЛИЗА

Ключевые слова: Бутен-1; бутан-бутадиеновая фракция пиролиза; изомеризация; полиэтилен; ректификация; селективное гидрирование; экономическая эффективность; *Petro-SIM*.

Аннотация. В статье рассматривается технология получения бутена-1 из бутан-бутадиеновой фракции (ББДФ) пиролиза. Технологический процесс включает селективное гидрирование бутадиена-1,3, выделение изобутанов и изобутиленов, изомеризацию бутена-2 в бутен-1 и ректификацию. Основное внимание уделено разработке многоступенчатого технологического процесса, включающего последовательное проведение химических реакций и разделение компонентов ББДФ. Для оценки эффективности предложенной схемы было выполнено моделирование в программном обеспечении *Petro-SIM* и проведен анализ экономической целесообразности. Результаты демонстрируют высокую внутреннюю норму доходности и удовлетворительный срок окупаемости, что подтверждает целесообразность использования ББДФ в качестве сырья для производства бутена-1.

Растущий спрос на бутен-1 обусловлен его ключевой ролью в производстве линейного полиэтилена низкой плотности (ЛПЭНП) и полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). Для производства данных видов полиэтилена используется сополимеризация этилена с α -олефинами, такими как бутен-1, гексен-1 или октен-1. Добавление этих сомономеров в полимерную цепь приводит к образованию боковых ответвлений. Благодаря разветвленному строению полиэтилен приобретает такие свойства, как гибкость, прочность и стойкость [1].

На сегодняшний день наблюдается устой-

чивый рост потребления бутена-1, это связано с запуском производств полиэтиленов на Амурском горно-химическом комбинате (ГХК) в Казахстане и Иркутске. Общее потребление бутена-1 по годам и потребление в РФ представлены рис. 1.

Традиционные методы производства бутена-1, такие как выделение из продуктов крекинга, димеризация и олигомеризация этилена, дегидрирование н-бутана имеют свои ограничения.

Выделение из продуктов крекинга зависит от объемов переработки нефти и состава получаемых фракций, что не всегда обеспечивает стабильное предложение бутена-1.

Димеризация этилена – это процесс соединения двух молекул этилена в одну молекулу бутена-1. Процесс включает стадии активации катализатора, координации этилена с каталитическим центром и образования связи C-C между двумя молекулами этилена. Димеризация этилена, хотя и позволяет получать бутен-1 высокой чистоты, но требует значительных капитальных затрат [2].

Олигомеризация этилена – это процесс соединения нескольких молекул этилена в более крупные молекулы олефинов, включая бутены, гексены и октены. Процесс проводят в присутствии триэтилалюминия в качестве катализатора. Триэтилалюминий активирует молекулы этилена, способствуя их последовательному присоединению друг к другу. Процесс не отличается высокой селективностью по бутену-1, поэтому образуется широкий спектр олефинов [3].

В связи с этим в качестве сырья для выделения бутена-1 предлагается рассмотреть бутан-бутадиеновую фракцию пиролиза.

Основное преимущество использования в качестве сырья ББДФ заключается в том, что

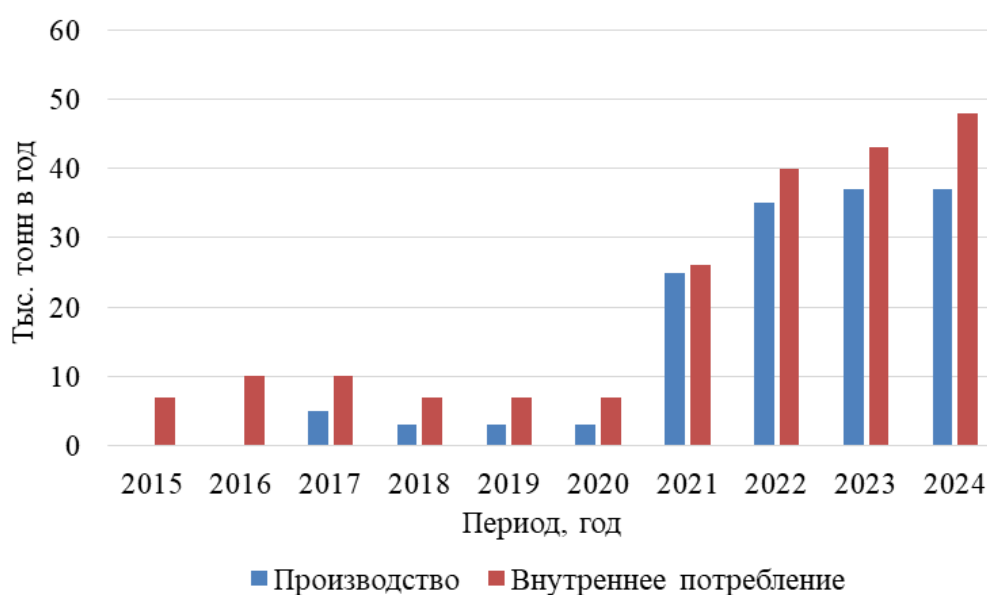


Рис. 1. Производство и потребление бутена-1 по годам

Таблица 1. Состав бутан-бутадиеновой фракции

Показатель	кг/ч	% масс
1,4-пентадиен	0,31	0,00339
Пропадиен	0,05	0,00055
Пропен	0,07	0,00077
Пропан	0,07	0,00077
И-бутан	314,95	3,45117
1-бутен	4 241,99	46,48256
1,3-бутадиен	3 756,67	41,16453
Н-бутан	5,52	0,06046
Транс-бутен-2	465,84	5,10460
Цис-бутен-2	340,48	3,73090
И-пентан	0,02	0,00018
3-метил-1-бутин	0,01	0,00011
Итого	9 125,98	100,00000

после удаления основных примесей 1,3-бутадиена и изобутена остается 15–40 % бутена-1. Также преимуществами данного подхода являются доступность сырья, приемлемая цена и возможность получения чистого продукта. Однако для эффективного использования бутан-бутади-

еновой фракции в качестве источника бутена-1 требуется разработка технологии очистки от примесей изобутена, 1,3-бутадиена и ацетиленовых углеводородов [4].

Оценка перспективности бутан-бутадиеновой фракции пиролиза как сырья для произ-

Таблица 2. Материальный баланс установки

Показатель	% масс.	т/г	т/ч	кг/ч
Приход				
Сырье (ББФ)	94,15	79 943	9,13	9 125,97
ВСГ	5,85	4 968,9	0,57	567,23
Итого:	100,00	84 912	9,69	9 693,20
Расход				
Газ	3,34	2 836,5	0,32	323,80
Изобутан, изобутен	14,37	12 203	1,39	1 393,00
Бутен-1	73,98	62 821	7,17	7 171,40
Бутен-2	8,30	7 051,8	0,81	805,00
Итого:	100,00	84 912	9,69	9 693,20

водства бутена-1 является комплексной задачей, требующей учета целого ряда факторов. В первую очередь необходимо оценить состав ББФ, образующейся на конкретном производстве, поскольку это напрямую влияет на выбор и эффективность технологии извлечения бутена-1.

Бутан-бутадиеновая фракция (ББФ), образующаяся при пиролизе углеводородного сырья, характеризуется сложным и переменным составом, зависящим от типа сырья и условий процесса. Основными компонентами являются бутены, бутадиен, бутан и изобутан. Для получения бутена-1 необходимо минимизировать содержание примесей (1,3-бутадиена, изобутена, ацетиленов), что определяется требованиями к чистоте целевого продукта и технологией его извлечения.

Объектом исследования является бутан-бутадиеновая фракция установки пиролиза, сырьем которой является смесь широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ), бензинов и этан-метановой фракции. Состав бутан-бутадиеновой фракции представлен в табл. 1.

Представленный состав бутан-бутадиеновой фракции пиролиза характеризуется высоким содержанием 1-бутена (46,48 % масс.) и 1,3-бутадиена (41,16 % масс), что делает ее потенциально ценным сырьем для производства бутена-1.

Поскольку высокое содержание бутадиена-1,3 немного осложняет задачу, так как в количественном отношении при выделении бутадиена из смеси мы теряем практически по-

ловину потенциального бутена-1, в связи с этим необходима проработка проведения селективного гидрирования для увеличения выхода целевого продукта.

Содержание изобутана составляет 3,45 % масс, что требует его удаления перед использованием бутена-1 в полимеризационных процессах, поскольку изобутен может ингибировать полимеризацию или ухудшать свойства полимера.

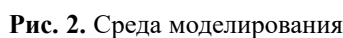
Суммарное содержание цис- и транс-бутена-2 составляет 8,83 % масс. Эти изомеры бутена-2 могут быть изомеризованы в бутен-1 или использованы в других химических процессах.

Таким образом, исходя из представленных методов выделения и состава сырья, необходимо разработать такую технологию, которая позволит выделить максимальное количество бутена-1.

Анализируя состав ББФ, предлагаемая технологическая схема будет включать в себя последовательное проведение следующих стадий.

1. Селективное гидрирование бутадиена-1,3 в бутен-2.
2. Выделение изобутанов и изобутенов.
3. Изомеризация бутена-2 в бутен-1.
4. Ректификация смеси и выделение бутена-1.

Селективное гидрирование бутадиена-1,3 до бутена-2 обусловлено его высоким содержанием, за счет данной стадии мы сможем увели-



Показатель	% масс.
1,4-пентадиен	0,0043
1-бутен	99,24
н-бутан	0,054
транс-бутен-2	0,495
цис-бутен-2	0,206
Итого	100

Для определения качественных характеристик получаемого бутена-1 полимеризационной чистоты произвели моделирования установки в программном обеспечении (ПО) *Petro-SIM*. При моделировании реакторов приняли упрощенный вариант расчета. Выбрали реактор конверсии, прописали соответствующие реакции и самостоятельно указали степень конверсии,

Таблица 4. Результаты экономической эффективности

Показатель	Ед. изм.	Значение
Капитальные затраты	млрд руб.	7,1
Внутренняя норма доходности (<i>IRR</i>)	%	30 %
Срок окупаемости	лет	7,1
Дисконтированный срок окупаемости	лет	7,42
Цена бутена-1 на продажу	тыс. руб.	220

исходя из литературных данных.

Среда моделирования представлена на рис. 2.

Результаты моделирования показали, что количество основного вещества в получаемом бутене-1 полимеризационной чистоты соответствует требуемым и составляет 99,24 % масс. Качество получаемого бутена-1 представлено в табл. 3.

Для определения экономической эффек-

тивности проекта была проведена оценка показателей эффективности инвестиционного проекта [7]. Результаты оценки экономической эффективности представлены в табл. 4.

Оценка экономической эффективности проекта показывает высокую внутреннюю норму доходности (30 %) и средний срок окупаемости (7,1 лет). В связи с этим выработка бутена-1 из ББДФ является перспективным направлением для развития нефтеперерабатывающей отрасли.

Список литературы

1. Шанхай Цишен. Пластиковая промышленность. Понимание полиэтилена: типы, свойства и применение / Шанхай Цишен [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://reads.alibaba.com/ru/understanding-polyethylene-types-properties-and-applications>.
2. Фельдблюм, В.Ш. Димеризация олефинов / В.Ш. Фельдблюм, Н.В. Обещалова // Успехи химии. – 1968. – Т. 37. – Вып. 10. – С. 1836–1869.
3. Хамыев, М.Дж. Олигомеризация этилена: основные закономерности / М.Дж. Хамыев // Альтернативная энергетика и экология. – 2023. – № 4. – С. 153–155.
4. Сафина, Ф.Ф. Состояние промышленных технологий получения бутена-1 полимеризационной чистоты / Ф.Ф. Сафина, Х.Э. Харлампиди // Прикладная химия и химическая технология. – 2013. – № 4. – С. 153–155.
5. Selective Catalytic Hydrodimerization of 1,3-Butadiene by Palladium Compounds Dissolved in Ionic Liquids // Organometallics – ACS Publications [Electronic resource]. – Access mode : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/om970982p>.
6. Selective Hydrogenation of 1,3-Butadiene to 1-Butene: Review on // SciSpace [Electronic resource]. – Access mode : <https://scispace.com/papers/selective-hydrogenation-of-1-3-butadiene-to-1-butene-review-2zq0vkvxujl>.
7. Лунева, Н.Н. Учебно-методическое пособие к выполнению экономической части дипломного проекта для студентов специальностей 240403.65 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и 240801.65 «Машины и аппараты химических производств» / Н.Н. Лунева. – Уфа : УГНТУ, 2013. – 36 с.

References

1. Shankhay Tsishen. Plastikovaya promyshlennost'. Ponimaniye polietilena: tipy, svoystva i primeneniye / Shankhay Tsishen [Electronic resource]. – Access mode : <https://reads.alibaba.com/ru/understanding-polyethylene-types-properties-and-applications>.

2. Fel'dblyum, V.SH. Dimerizatsiya olefinov / V.SH. Fel'dblyum, N.V. Obeshchalova // Uspekhi khimii. – 1968. – T. 37. – Vyp. 10. – S. 1836–1869.
 3. Khamyyev, M.Dzh. Oligomerizatsiya etilena: osnovnyye zakonomernosti / M.Dzh. Khamyyev // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. – 2023. – № 4. – S. 153–155.
 4. Safina, F.F. Sostoyaniye promyshlennykh tekhnologiy polucheniya butena-1 polimerizatsionnoy chistoty / F.F. Safina, K.H.E. Kharlampidi // Prikladnaya khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2013. – № 4. – S. 153–155.
 7. Luneva, N.N. Uchebno-metodicheskoye posobiye k vypolneniyu ekonomicheskoy chasti diplomnogo proyekta dlya studentov spetsial'nostey 240403.65 «Khimicheskaya tekhnologiya prirodnnykh energonositeley i uglerodnykh materialov» i 240801.65 «Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv» / N.N. Luneva. – Ufa : UGNTU, 2013. – 36 s.
-

© А.Р. Гайсина, О.Б. Прозорова, Н.А. Лихачева, 2025

УДК 621.651

К.Р. УРАЗАКОВ, Д.Д. ГОРБУНОВ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ТРЕХПЛУНЖЕРНОЙ УСТАНОВКИ С ЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Ключевые слова: высоковязкая нефть; гидродинамика; добыча нефти; линейный электродвигатель; математическая модель; плунжерные установки; установки скважинных насосов.

Аннотация. В настоящее время одним из широко применяемых методов добычи нефти является эксплуатация установок скважинных штанговых насосов. Установки указанного типа позволяют добывать нефть с высоким значением вязкости. Однако применение штанговых установок имеет ряд ограничений, обусловленных глубиной спуска насоса, а также наличием повышенных нагрузок на колонну насосных штанг и привод насоса. В связи с этим предлагается применение установок альтернативного типа – трехплунжерных установок с линейными электродвигателями, отличающихся от известных тем, что не содержат в своей компоновке колонну насосных штанг, являющихся узлом, подверженным частым отказам. Для обоснования применения трехплунжерной установки с линейными электродвигателями разработана математическая модель, позволяющая оценить максимальные тяговые усилия на каждый конкретный плунжер и электродвигатель в процессе эксплуатации установки при различных скважинных условиях.

Введение

При эксплуатации установок скважинных штанговых насосов (УСШН) в условиях добычи высоковязкой нефти имеется риск обрыва штанг, что навлекает отказ всей установки в целом. Ключевой недостаток штанговых насосов заключается в потенциальном обрыве штанг во

время работы с высоковязкой нефтью. Вероятность обрыва возрастает с увеличением глубины установки насоса. С учетом ограничений по глубине установки ряд авторов предложил альтернативный способ добычи нефти, заключающийся в размещении линейного электродвигателя в непосредственной близости от насоса в скважине, что позволяет исключить наличие штанг в скважинной компоновке для передачи полезной мощности от электродвигателя к насосу. Такая установка получила название – установка плунжерного насоса с линейным электродвигателем. Однако указанное техническое решение имеет ключевой недостаток – низкая производительность (до 30 м³/сут), а также наличие пульсации давления в процессе эксплуатации. В связи с этим предложено усовершенствованное техническое решение – трехплунжерная установка для добычи нефти. Поставленные задачи решаются за счет разработки конструкции трехплунжерной установки с линейным двигателем.

В состав установки входят следующие основные конструктивные элементы:

1) гидравлическая часть установки – три плунжерных насоса, в составе которых – три плунжера, три штока, три всасывающих и три нагнетательных клапана, переводник для возможности одновременного подключения трех насосов;

2) электроприводная часть установки – три погружных линейных электродвигателя, в составе которых – три комплекта обмоток статора и три слайдера, три кабельных ввода для возможности передачи тягового усилия плунжерам насосов.

Принцип действия трехплунжерной установки с линейным двигателем заключается в следующем. Для обеспечения процесса добычи нефти в обмотках статора электродвигателя

первого насоса индуцируется электромагнитное поле, создающее тяговое усилие для перемещения штока электродвигателя и обеспечения возвратно-поступательное движение плунжера первого насоса, аналогичным образом происходит перемещение плунжера второго и третьего насоса.

Материалы и методы исследований

Методы исследования режима работы трех-плунжерной установки с линейными электродвигателями базируются на разработке аналитической функции, описывающей развиваемые тяговые усилия, вызванные наличием веса столба жидкости, различных гидродинамических сопротивлений с учетом конструктивных параметров установки. При этом учитываются в том числе и параметры электродвигателя, характеризующие развиваемое тяговое усилие в процессе эксплуатации установки.

Для возможности подбора оптимальных конструктивных параметров, обеспечивающих требуемую подачу, развиваемое тяговое усилие и прочность узлов, необходимо описать параметры электроприводной и гидравлической части установки [1–3].

Для определения этого тягового усилия необходимо учесть усилия для преодоления гидравлических сопротивлений, вызванных вязкостными свойствами жидкости по стволу скважины и в полости цилиндра насоса. Тогда суммарные усилия на плунжер насоса определяются как (суммарное тяговое усилие):

$$F_{\text{тяг}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot L_{\text{сп}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{пл}}^2}{4} + P_{\text{у}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{нкт}}^2}{4} + \left(\lambda_{\text{нкт}} \cdot \frac{L_{\text{сп}}}{D_{\text{нкт}}} + \lambda_{\text{пл}} \cdot \frac{L_{\text{ход.пл.}}}{D_{\text{пл}}} + \lambda_{\text{кл}} \right) \cdot \frac{v_{\text{пл}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{пл}}^2}{4} + 25000 D_{\text{пл}} + 0,288 f_{\text{тр}} \frac{\Delta J E}{R_{\text{скв}} \sqrt{R_{\text{скв}} (D_{\text{ц.вн}} - D_{\text{пл}})}} + F_{\text{тр.эл}}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $L_{\text{сп}}$ – глубина спуска установки, м; $P_{\text{у}}$ – устьевое давление, Па; $D_{\text{нкт}}$ – диаметр насосно-компрессорной трубы (НКТ), м; $\lambda_{\text{нкт}} = 64/Re = (64\mu_{\text{ж}})/(\rho_{\text{ж}} D_{\text{нкт}} v_{\text{пл}})$ – коэффициент сопротивлений на трение по дли-

не при движении жидкости в полости НКТ; $\lambda_{\text{пл}} = 64/Re = (64\mu_{\text{ж}})/(\rho_{\text{ж}} D_{\text{пл}} v_{\text{пл}})$ – коэффициент сопротивлений на трение по длине хода плунжера при движении жидкости в полости цилиндра насоса; $\lambda_{\text{кл}} = 0,2-0,6$ – коэффициент сопротивлений в местном сужении (клапане) в зависимости от типоразмера клапана; $L_{\text{сп}}$ – глубина спуска установки, м; $L_{\text{ход.пл.}}$ – длина хода плунжера, м; $D_{\text{пл}}$ – диаметр плунжера, м; $D_{\text{кл}}$ – диаметр клапана, м; $\mu_{\text{ж}}$ – вязкость жидкости, Па · с; $v_{\text{пл}}$ – скорость движения плунжера, м/с; $\Delta J = (\pi D_{\text{пл}}^4)/32 - (\pi D_{\text{ц.н}}^4)/32 (1 - D_{\text{ц.вн}}^4/D_{\text{ц.н}}^4)$ – разность полярных моментов инерции плунжера и цилиндра, м⁴; $R_{\text{скв}}$ – радиус искривления скважины, м; $D_{\text{ц.вн}}$, $D_{\text{ц.н}}$ – внутренний и наружный диаметры цилиндра, м; E – модуль Юнга, Па; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения плунжера о цилиндр; $F_{\text{тр.эл}}$ – усилие, вызванное трением штока в полости ПЭД, принимается равным 245 Н.

На втором этапе с учетом полученного требуемого тягового усилия для преодоления веса столба жидкости и различных сопротивлений производится расчет основных показателей и параметров электродвигателя [4].

Тяговое усилие модуля цилиндрического линейного двигателя вычисляется по закону Ампера:

$$F_{\text{тяг}} = \alpha \cdot \pi \cdot I_{\text{л}} \cdot B_{\text{Зср}} \cdot D \cdot l_{\text{мод}}, \quad (2)$$

где $F_{\text{тяг}}$ – тяговое усилие, Н; $B_{\text{Зср}}$ – магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл; D – диаметр ротора с учетом воздушного зазора, м; $l_{\text{мод}}$ – длина активной части модуля индуктора линейного двигателя, м; α – коэффициент полюсного деления; $I_{\text{л}}$ – линейная токовая нагрузка, А.

Разработанная методика обеспечивает взаимосвязь между параметрами гидравлической части установки и приводной.

Результаты

На основе разработанной математической модели далее представлен пример ее реализации на основе гипотетической скважины. В рамках исследования произведен анализ тягового усилия конструктивных и технологических параметров установки. При этом рассмотрены значения подачи: 60, 90 и 120 м³/сут при фиксированном значении скорости движения плунжера равным 0,8 м/с.

Получено, что для обеспечения подачи 60 м³/сут диаметр плунжера составляет 19 мм,

при подаче $90 \text{ м}^3/\text{сут}$ диаметр плунжера составляет 24 мм, а при значении подачи $120 \text{ м}^3/\text{сут}$ диаметр плунжера составляет 27 мм.

С учетом требуемых тяговых усилий, рассчитанных исходя из гидродинамических сопротивлений и развиваемых тяговых усилий погружного электрического двигателя (ПЭД) под эксплуатационную колонну с условным диаметром 146 мм, с толщиной стенки 7,3 мм, подобрана следующая компоновка трехплунжерной установки: диаметральный габарит – 124 мм, суммарная длина – 14,2 м, диаметр плунжера – 19 мм. Диапазон подач от 5 до $75 \text{ м}^3/\text{сут}$, глубина установки – 1 500–3 500 м с возможностью перекачивать эмульсию до 100 мПа · с.

Выводы

1. Разработана математическая модель, описывающая возникающие тяговые усилия при эксплуатации трехплунжерной установки с линейными электродвигателями, позволяющая исследовать и подобрать оптимальную

компоновку с учетом различных параметров установки, скважинных условий, гидродинамических сопротивлений и габаритных ограничений.

2. Выявлено, что влияние конструктивных и технологических параметров установки, а также свойств перекачиваемой жидкости имеет нелинейный характер при расчете развиваемых тяговых усилий на плунжере, в связи с чем при проектировании и эксплуатации рассматриваемой установки необходимо учитывать указанное влияние ввиду потенциального наличия высоких нагрузок.

3. Получены основные габаритные, конструктивные и технологические параметры установки, соответствующие эксплуатационной колонне с условным диаметром 146 мм, с толщиной стенки 7,3 мм: диаметральный габарит – 124 мм, суммарная длина – 14,2 м, диаметр плунжера – 19 мм, при этом диапазон развиваемых подач составляет от 5 до $75 \text{ м}^3/\text{сут}$, глубина установки – 1 500–3 500 м с возможностью перекачивать эмульсию до 100 мПа · с.

Список литературы

1. Уразаков, К.Р. Методика расчета динамических нагрузок в плунжерных глубинных насосах для добычи нефти / К.Р. Уразаков, Д.Д. Горбунов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 12. – С. 7–17.
2. Obezinskaya, M.I. Research of problems and prospects of operation of rod pumps / M.I. Obezinskaya // Bulletin of the M. Kozybayev NKU. – 2021. – No. 4(52.1). – P. 136–140.
3. ГОСТ Р 51896-2002 Насосы скважинные штанговые, 2002. – 43 с.
4. Камалетдинов, Р.С. Механизированная добыча нефти. Итоги 18-й Международной практической конференции / Р.С. Камалетдинов // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2021. – № 5(113). – С. 94–97.

References

1. Urazakov, K.R. Metodika rascheta dinamicheskikh nagruzok v plunzhernykh glubinnykh nasosakh dlya dobychi nefi / K.R. Urazakov, D.D. Gorbunov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2024. – T. 335. – № 12. – S. 7–17.
3. GOST R 51896-2002 Nasosy skvazhinnyye shtangovyye, 2002. – 43 s.
4. Kamaletdinov, R.S. Mekhanizirovannaya dobycha nefi. Itogi 18-y Mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii / R.S. Kamaletdinov // Delovoy zhurnal Neftegaz.RU. – 2021. – № 5(113). – S. 94–97.

© К.Р. Уразаков, Д.Д. Горбунов, 2025

УДК 621.865.8

Д.В. ДОВТОЛЕНКО, М.В. ВАЛЕЕВА, Е.В. ИППОЛИТОВА

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОГО РОБОТА

Ключевые слова: автономный источник энергии; аккумулятор; ездовой цикл; емкость накопителя.

Аннотация. В данной работе рассматриваются существующие накопители энергии, разбираются их преимущества и недостатки применительно к накоплению энергии на электромобилях и мобильных роботах. Целью данной работы является подбор накопителя энергии для колесного робота. Для этого необходимо выполнить следующие задачи: изучить существующие типы аккумуляторных батарей, исследовать зависимость количества потраченной энергии и пройденного пути колесного робота, выбрать тип аккумулятора для установки на робота. Для расчета потребной мощности было решено использовать ездовой цикл, содержащий много разгонов и торможений, что позволит лучше предсказать энергопотребление. В работе представлен расчет потребной энергии робота, а также обоснован выбор накопителей энергии и их конфигурация.

Введение

В условиях, когда необходимо обеспечить автономность мобильного робота при отсутствии внешнего источника питания, необходимо использовать накопитель энергии, способный поддерживать работу робота в течение заданного промежутка времени.

Одной из задач, стоящих перед инженерами в процессе создания роботов с автономным источником энергии, является определение потребных характеристик. Для достижения оптимальных эксплуатационных характеристик необходимо подобрать оптимальную емкость энергонакопителей, что позволяет сделать потребные характеристики при некотором ез-

довом цикле. Это позволяет уменьшить массу робота, повысить эффективность и улучшить динамические характеристики.

В данной работе производится расчет потребной характеристики и подбирается накопитель энергии исходя из смоделированного ездового цикла.

Обзор существующих накопителей энергии

Для обеспечения работы двигателей и мотор-колес энергию необходимо накапливать и хранить. Системы накопления энергии классифицируются в соответствии с формой хранения энергии. Они разделяются на механические, электрохимические, химические, электрические, термические и гибридные. В свою очередь, каждый класс можно разделить на различные типы [4].

К электрическим накопителям энергии относятся суперконденсаторы. Суперконденсатор похож на обычный конденсатор с точки зрения структуры и функционала (рис. 1). Тем не менее суперконденсатор обладает высокой удельной энергетической емкостью в сравнении с другими конденсаторами. В сравнении с электрохимическими накопителями обладает наивысшей удельной мощностью, которая составляет примерно 1 000–2 000 с коэффициентом использования энергии 95 % [1].

Электрохимические накопители бывают двух видов: проточные (**FB**) и вторично перезаряжаемые аккумуляторные батареи (**SBs**).

Принцип работы **FB** батарей основывается на взаимодействии двух «заряженных» жидкостей-электродов (рис. 2): они выполняют роли плюсового и минусового зарядов. За счет давления, создаваемого насосами, они пропускаются через специальную ячейку. В ней в результате химического взаимодействия и производится электрический ток. Такие аккумуля-



Рис. 1. Модуль суперконденсаторов МСКА-340-27-П

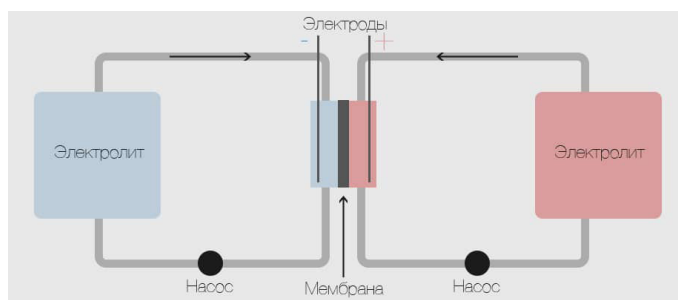


Рис. 2. Принцип работы проточных (поточковых) батарей

ляторы хорошо подходят для стационарного использования и плохо подходят для мобильных роботов ввиду своих размеров.

SBs батареи хранят электричество в виде химической энергии и вырабатывают электричество в процессе электрохимической реакции. *SBs* состоит из двух электродов, анода и катода, электролита, разделителя и корпуса. Такие батареи обладают хорошими характеристиками, такими как высокая удельная энергоемкость, высокая удельная мощность, слабое проседание напряжения при нагрузке, низкое сопротивление, незначительное влияние памяти и широкий диапазон рабочих температур. Различные типы электромобилей в основном включают свинцово-кислотные батареи (*LA*), батареи на основе никеля (*Ni-Fe*, *Ni-Zn*, *Ni-Cd*, *Ni-MH*, *Ni-H₂*), на основе цинка-галогена (*Zn-Cl₂*, *Zn-Br₂*), на основе металла с воздухом (*Fe-Air*, *Al-Air*, *Zn-Air*), натрий-бета (*Na-S*, *Na-NiCl₂*), высокотемпературного лития (*Li-Al-FeS*, *Li-Al-FeS₂*) и литиевые батареи температуры окружающей среды – литий-полимерные (*Li-poly*) и литий-ионные (*Li-ion*).

Свинцово-кислотные аккумуляторы (*LA*) обычно применяются для аварийного энергоснабжения, хранения возобновляемой энергии

из-за их прочности, безопасности эксплуатации, незначительного нагрева и низкой стоимости. Батарея состоит из свинца в качестве отрицательного электрода, *PbO₂* в качестве положительного электрода и раствора *H₂SO₄* в качестве электролита. Во время разряда образуется *PbSO₄*, вода высвобождается во время зарядки. Во время зарядки происходит обратная реакция. Батарея служит в течение 6–15 лет [3].

На смену таким аккумуляторам приходит гелевый аккумулятор. Принцип работы гелевого аккумулятора идентичен кислотному (рис. 3). В гелевых аккумуляторах в электролит добавлены химические элементы, которые обеспечивают ему состояние геля. Он несколько компактнее и нечувствителен к вибрациям, но требователен к токам зарядки и разрядки.

В аккумуляторах на никелевой основе в качестве положительного электрода используют гидроксид никеля и различные материалы для отрицательных электродов. В зависимости от материалов отрицательного электрода аккумуляторы на никелевой основе подразделяются на *Ni-Fe*, *Ni-Cd*, *Ni-Zn*, *Ni-MH* и *Ni-H₂*. Как правило, в никелевых батареях активные материалы включают оксигидроксид никеля в качестве по-

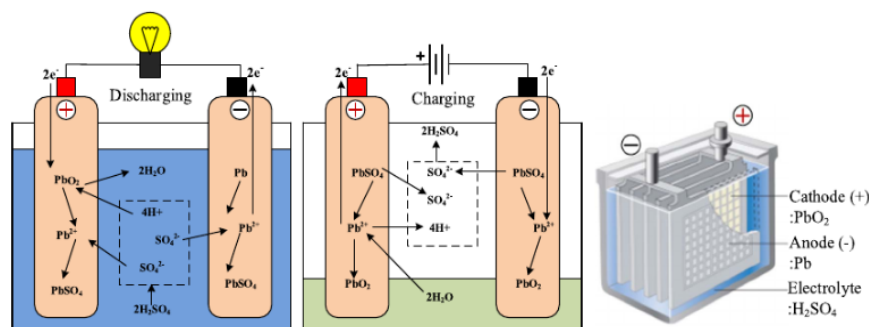


Рис. 3. Принцип работы и устройство свинцово-кислотных аккумуляторных батарей

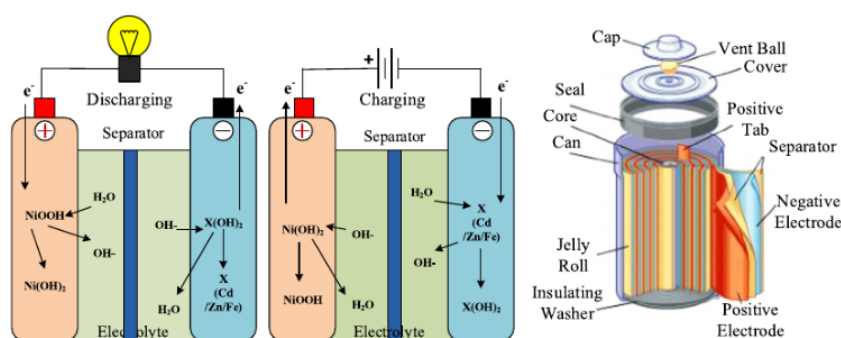
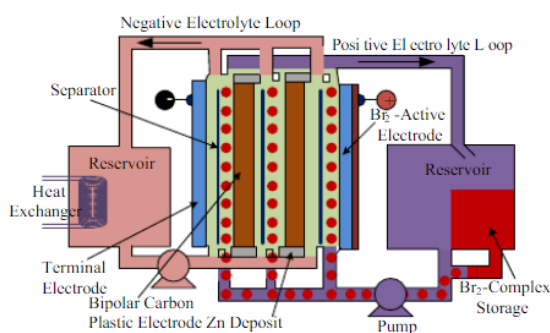


Рис. 4. Принцип работы и устройство никелевых аккумуляторных батарей

Рис. 5. Принцип работы и устройство $Zn-Br_2$ аккумуляторных батарей

ложительного электрода, раствор гидроксида калия в качестве электролита и любой металлический материал $Fe/Cd/Zn$, MH или H_2 в качестве отрицательного электрода.

Никель-железные и цинковые батареи менее привлекательны при использовании в мобильных роботах из-за их низкой удельной мощности, высокой стоимости, низкого срока службы и высоких требований к техническому обслуживанию. Батареи $Ni-Fe$ и $Ni-Zn$ обеспе-

чивают энергоэффективность 75 %. Никель-кадмий и гидрид металла в настоящее время используются для питания, потому что они имеют большое количество жизненных циклов (2 000 или более) и относительно высокую удельную плотность энергии. Принцип их работы указан на рис. 4.

Цинк-галогенные батареи включают в себя $Zn-Cl_2$ и $Zn-Br_2$. $Zn-Cl_2$ имеет высокую плотность энергии 90 Вт ч/л и низкую удельную

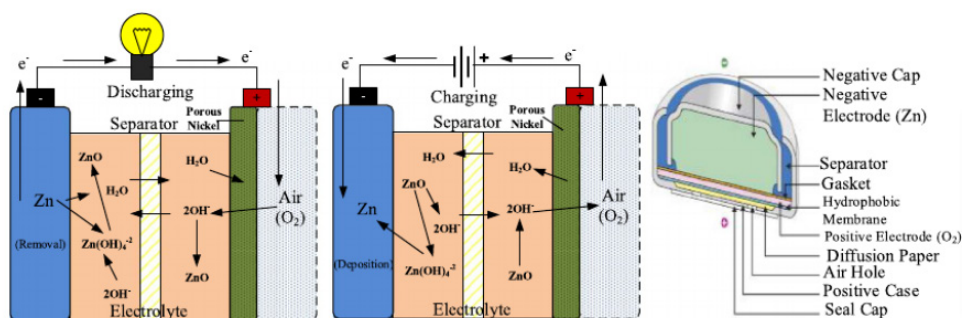


Рис. 6. Принцип работы и устройство цинко-воздушных аккумуляторных батарей

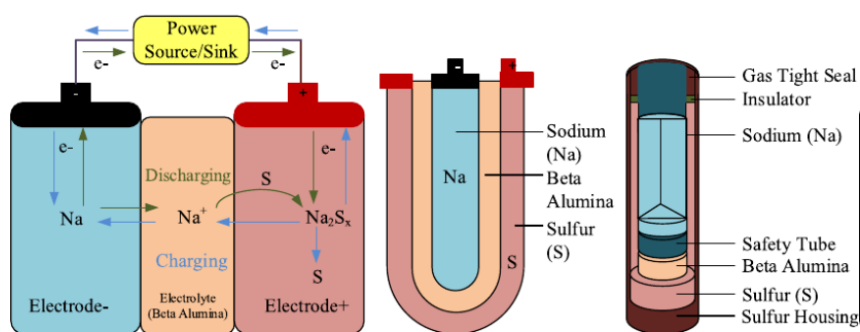


Рис. 7. Принцип работы и устройство натриевых аккумуляторных батарей

мощность 60 Вт/кг. Аккумуляторы *Zn-Br2* подходят для накопления энергии из-за их высокой удельной энергоемкости 70 Вт/кг, способности к быстрой зарядке и низкой стоимости материала. Однако этот тип батарей в последнее время стал менее применим из-за их низкой удельной мощности в 90 Вт/кг, высокой реакционной способности брома, большого размера и необходимости контроля температуры. В батарее *Zn-Br2* энергия накапливается и высвобождается электрохимическими реакциями в системе, состоящей из электродов в виде цинка и брома, электролита водного раствора брома цинка, а также резервуаров хранения электролитов и сепараторов в виде микропористой пластиковой пленки (рис. 5).

Металло-воздушные электрохимические батареи состоят из металлических электродов в качестве анода и кислорода из окружающего воздуха в качестве катода. В качестве анодного металла используются *Li*, *Ca*, *Mg*, *Fe*, *Al* и *Zn*. Среди этих элементов литий-воздушная (*Li-Air*) батарея наиболее пригодна для применения в электромобилях из-за ее высокой те-

ретической удельной энергоемкости порядка 11,14 кВт ч/кг, что в сто раз больше, чем у других батарей. Тем не менее этот тип батарей обладает большими рисками, связанными с содержащейся в воздухе водой.

Цинко-воздушная (*Zn-Air*) батарея сочетает свойства топливных элементов и обычных элементов, может электрически и механически перезаряжаться. Скорость реакции *Zn*-воздушной батареи контролируется изменением потока воздуха. Принцип работы показан на рис. 6. Усовершенствованная электрически перезаряжаемая *Zn*-воздушная батарея использует бифункциональный воздушный электрод для лучшего жизненного цикла, а механически перезаряжаемая *Zn*-воздушная батарея сконструирована таким образом, что разряженный анод можно легко заменить.

Натрий (*Na*) является привлекательным материалом для аккумуляторных анодов. Натриевые батареи являются единственными батареями, которые используют твердый электролит. В этих батареях используется бета-оксид алюминия, который обладает хорошей проводимо-

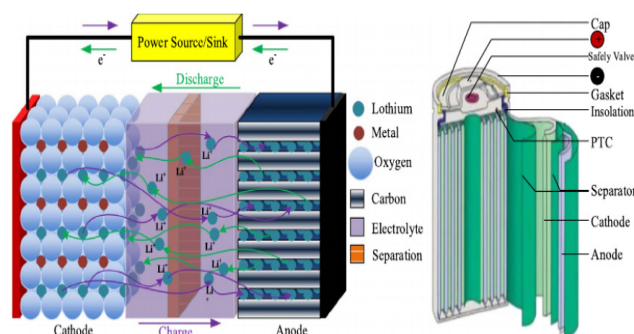


Рис. 8. Принцип работы и устройство литий-ионных аккумуляторных батарей

стью Na^+ и электрической изоляцией при высоких температурах. В зависимости от катодных материалов натрий-бета-батареи подразделяются на натрий-серные ($Na-S$) и галогенид натрий-металлические. $Na-S$ батарея имеет высокую рабочую температуру в диапазоне 300–350 °C. Кроме того, она имеет достаточную удельную энергоемкость в 150–240 и 150–230 Вт/кг. Порядка 4 000 циклов полной зарядки и высокая энергоэффективность 80–90 %, дешевизна и безопасность делают эту батарею привлекательной. Однако она обладает высоким внутренним сопротивлением и склонностью к коррозии натрия. Ее необходимо нагревать до температур около 300 °C для поддержания расплавленного состояния электродов. Все это перевешивает ее достоинства.

Технологии натрий-металлогалогенных батарей успешно работают на электромобилях с 1990-х гг., потому что они обладают более высоким напряжением элементов, чем батареи $Na-S$. Этот тип батареи хорошо известен как *ZEBRA*. Батарея с хлоридом натрия и металла ($Na-MeCl_2$) работает в широком диапазоне температур 250–350 °C. Аккумуляторы *ZEBRA* (рис. 7) наиболее привлекательны из-за их высокой удельной энергоемкости, меньшей склонности к коррозии, искробезопасности и лучшей устойчивости к перезарядке и чрезмерной разрядке, чем $Na-S$ из-за полутвердого катода, более длительного жизненного цикла и меньшей стоимости, чем другие батареи. Тем не менее батареи *ZEBRA* имеют сравнительно низкую удельную мощность 150 Вт/кг, и они нуждаются в тепловом управлении.

Литиевые батареи являются перспективными батареями для накопителей энергии для мобильных роботов из-за их высокой удельной энергоемкости и высокой удельной мощно-

сти, что приводит к экономии веса. Кроме того, литиевые батареи не имеют эффекта памяти и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду, в отличие от ртути или свинца.

Литиевые батареи бывают предназначены для работы в условиях высоких температур и в условиях температур окружающей среды.

Помимо натриевых бета-батарей, литий-алюминиево-железный моносulfид ($Li-Al-FeS$) и литий-алюминиево-железо-дисulfид ($Li-Al-FeS_2$) являются высокотемпературными литиевыми батареями. Эти литий-серные батареи имеют самую высокую удельную энергетическую емкость и, как следствие, самый низкий вес среди всех других литиевых батарей. Эти типы батарей имеют сравнительно низкий жизненный цикл, нуждаются в тепловом управлении и теряют энергию для поддержания рабочей температуры. Литиево-серные батареи работают при температуре 375–500 °C. Высокотемпературные литий-серные батареи состоят из сплава $Li-Al$ в качестве анода, sulfида железа в качестве катода, расплавленного хлорида лития и хлорида калия в качестве электролита и сепаратора.

Другими литиевыми батареями, которые работают при температуре окружающей среды, являются литий-полимерные и литий-ионные батареи, которые хорошо подходят для применения в мобильных роботах. Основное различие между литий-полимерными и литий-ионными батареями заключается в том, что в одном используется металлический литий, в то время как в ячейке последнего не используется металлический литий. Литий-полимерные батареи отлично подходят для разных сфер применения, они демонстрируют отличную надежность и стабильность [2].

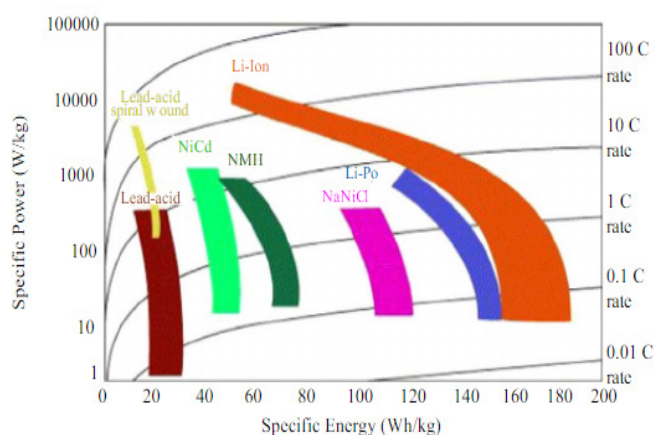


Рис. 9. График значений удельных мощности и емкости различных типов аккумуляторов



Рис. 10. Аккумулятор DCF021EA 3,7В 21А * ч

Литий-ионная батарея (рис. 8) обладает высокой удельной мощностью в диапазоне от 500 до 2 000 Вт/кг, низкий уровень саморазряда и длительный срок службы. Однако жизненный цикл *Li-on* батареи зависит от температуры и резко уменьшается при глубоком разряде. В зависимости от положительного электрода литий-ионные аккумуляторы подразделяются на оксид лития-кобальта (*LiCoO2*), оксид лития-марганца (*LiMn2O4*), литий-железо-фосфат (*LiFePO4*), литий-никель-марганец-кобальтоксид (*LiNiMnCoO2*), литий-оксид никеля-кобальта-никеля (*LiNiCoAlO2*) и литиево-титанатные (*Li4Ti5O12*) батареи. Батарея *LiCoO2* была первым типом литиевых батарей, который был разработан. Аккумулятор *LiFePO4* считается аккумулятором с самой высокой удельной мощностью и с самым высоким током разряда

и имеет самую низкую стоимость среди всех литий-ионных аккумуляторов. Аккумуляторы *Li4Ti5O12* в настоящее время используются в мобильных роботах из-за их более быстрой зарядки по сравнению с другими литиевыми батареями. Литий-ионная батарея состоит из оксида металлического лития (*LiMeO2*, например, *LiCoO2*, *LiMn2O4*, *LiFePO4*, *LiNiMnCoO2*, *LiNiCoAlO2* и *Li4Ti5O12*) в качестве катода, растворенных солей лития в органических карбонатах в качестве электролита. На рис. 9 приведены графики энергии/кг.

Расчет емкости накопителя энергии

В качестве накопителя можно использовать современные литий-ионные аккумуляторы DCF021EA (рис. 10) с напряжением 3,7 В

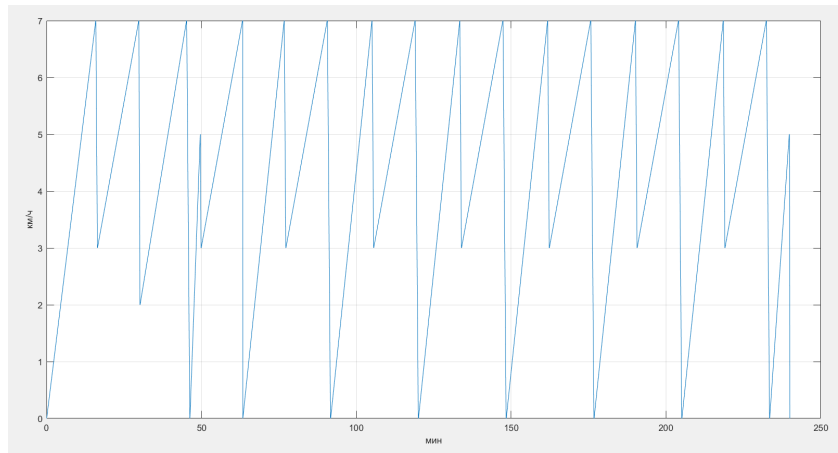


Рис. 11. Записанный ездовой цикл

и емкостью 21 А ч. Можно собрать две параллельных ячейки, в каждой из которых будет 13 последовательно подключенных аккумуляторов. Всего 26 аккумуляторов массой 350 грамм каждый. Суммарная емкость такой сборки порядка 1,75 кВт ч, а масса 9 кг.

Для расчета потребной энергии был взят ездовой цикл, содержащий много моментов разгона и торможений, что делает его не экономичным и может позволить лучше предсказать энергопотребление при разных внештатных ситуациях.

Ниже приведены исходные данные, необходимые для расчета;

- полная масса – $m = 50$ кг;
- площадь лобовая – $S = 0,27$;
- коэффициент сопротивления воздуха –

$$0,2318 \text{ Н} \frac{\text{с}^2}{\text{м}^4};$$

– коэффициент сопротивления качению – $f = 0,018$;

– коэффициент учета вращающихся масс – $\delta_{вр} = 1,043$;

– количество колес – 6;

– радиус чистого качения колеса – $r_{k0} = 0,097$ м;

– ускорение свободного падения – $g = 9,81$ м/с².

Зависимость скорости от времени известна из записи ездового цикла, тогда угловая скорость вращения колеса:

$$\omega_k = \frac{v_{mx}}{r_{k0}}.$$

Сила лобового сопротивления, где v_{mx}^2 – скорость, $F_{лоб}$ – площадь лобовой проекции:

$$P_{\omega} = k_{\omega} F_{лоб} v_{mx}^2.$$

Ускорение:

$$a = \frac{\Delta v_{mx}}{\Delta t}.$$

Потребный момент, где $\delta_{вр}$ – коэффициент учета вращающихся масс, а f – коэффициент сопротивления качению:

$$M = (m \cdot a \cdot \delta_{вр} + P_{\omega} + mgf) \cdot r_{k0}.$$

Потребная мощность:

$$N = M \cdot \omega_k.$$

Затраченная энергия:

$$E = \int_0^t N dt.$$

В результате работы программы, созданной в среде *Matlab*, были получены необходимые результаты. На рис. 12–13 представлены графики расхода энергии и потребной мощности. Робот израсходовал 0,4 кВт ч энергии.

Заключение

В ходе данной работы были рассмотре-

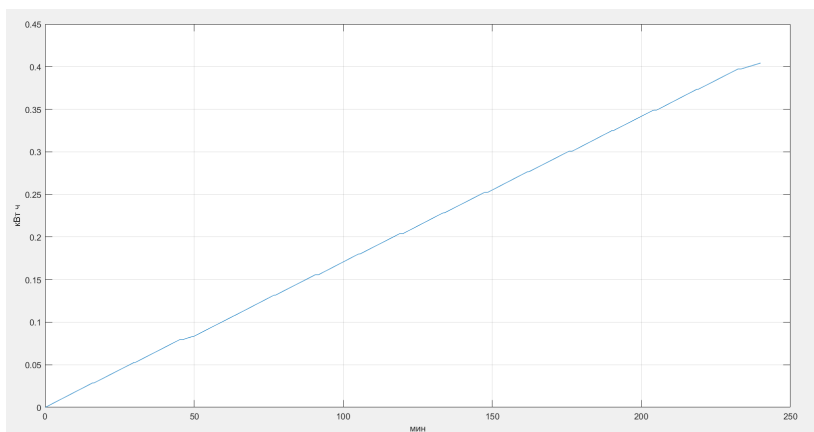


Рис. 12. Расход энергии

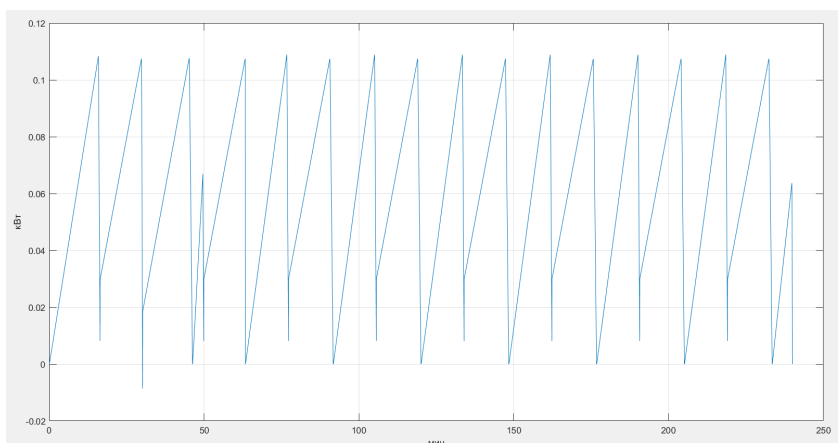


Рис. 13. Потребная мощность

ны существующие типы аккумуляторных батарей для выбора наиболее подходящего решения. Были определены потребная мощность и потребная энергия для ездового цикла

робота, что позволило подобрать необходимое количество ячеек и способ их подключения для обеспечения автономности колесного робота.

Список литературы/References

1. Андросов, А.Ю. Суперконденсаторная система накопления энергии как основной источник питания электромобиля / А.Ю. Андросов, О.А. Царев // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 3. – С. 79–84.
2. Анов, А. Современные литий-ионные аккумуляторы. Батареи на их основе / А. Анов, А. Румянцев, С. Беляев // Компоненты и технологии. – 2015. – № 5. – С. 81–85.
3. Гуревич, В. Свинцово-кислотные аккумуляторы: устройство, принцип действия, применение / В. Гуревич // Силовая электроника. – 2012. – Т. 5. – № 38. – С. 68–74.
4. Щуров, Н.И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н.И. Щуров, К.В. Щеглов, А.А. Штанг // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2008. – № 1. – С. 99–104.

References

1. Androsov, A.YU. Superkondensatornaya sistema nakopleniya energii kak osnovnoy istochnik pitaniya elektromobilya / A.YU. Androsov, O.A. Tsarev // Elektronnyy zhurnal: nauka, tekhnika i obrazovaniye. – 2017. – № 3. – S. 79–84.
2. Anov, A. Sovremennyye lityi-ionnyye akkumulyatory. Batarei na ikh osnove / A. Anov, A. Rumyantsev, S. Belyayev // Komponenty i tekhnologii. – 2015. – № 5. – S. 81–85.
3. Gurevich, V. Svintsovo-kislotnyye akkumulyatory: ustroystvo, printsip deystviya, primeneniye / V. Gurevich // Silovaya elektronika. – 2012. – T. 5. – № 38. – S. 68–74.
4. Shchurov, N.I. Primeneniye nakopiteley energii v sistemakh elektricheskoy tyagi / N.I. Shchurov, K.V. Shcheglov, A.A. Shtang // Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – № 1. – S. 99–104.

© Д.В. Довтоленко, М.В. Валеева, Е.В. Ипполитова, 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);

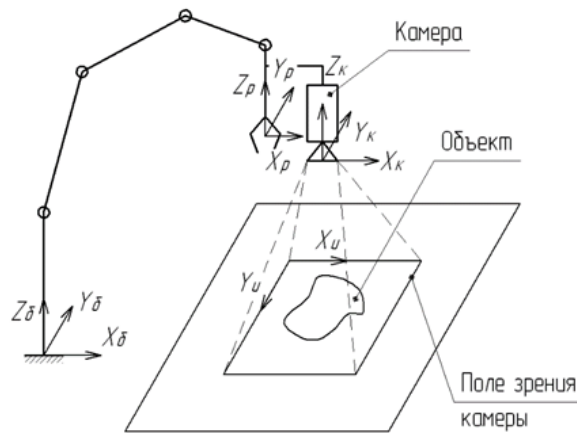


Рис. 1. Установка системы технического зрения на концевой эффектор манипулятора



Рис. 2. Ключевые задачи, решаемые методом преобразования систем координат

$$= \begin{pmatrix} \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) & -\sin q_1 & -\cos q_1 \sin(q_2 + q_3) & a_3 \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \cos q_1 \cos q_2 + a_1 \cos q_1 \\ \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) & \cos q_1 & -\sin q_1 \sin(q_2 + q_3) & a_3 \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_1 \cos q_2 + a_1 \sin q_1 \\ \sin(q_2 + q_3) & 0 & \cos(q_2 + q_3) & a_3 \sin(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos q_4 \cos q_5 \cos q_6 - \sin q_4 \sin q_6 & -\cos q_4 \cos q_5 \sin q_6 - \sin q_4 \cos q_6 & -\cos q_4 \sin q_5 & -d_6 \cos q_4 \sin q_5 \\ \sin q_4 \cos q_5 \cos q_6 + \cos q_4 \sin q_6 & -\sin q_4 \cos q_5 \sin q_6 + \cos q_4 \cos q_6 & -\sin q_4 \sin q_5 & -d_6 \sin q_4 \sin q_5 \\ \sin q_5 \cos q_5 & 0 & \cos q_5 & d_6 \cos q_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Рис. 3. Формулы (2) и (3)

– $A_{(κ, и)}$ осуществляет переход от системы координат изображения $(X_{и}, Y_{и})$ к системе координат камеры $(X_κ, Y_κ, Z_κ)$.

При работе с промышленными робота-

ми процесс преобразования координат включает решение ряда задач, визуализированных на рис. 2.

Рассмотрим эти задачи более подробно.

$$p_x = -d_6 \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) \cos q_4 \sin q_5 + d_6 \sin q_1 \sin q_4 \sin q_5 - d_6 \cos q_1 \sin(q_2 + q_3) \cos q_5 + a_3 \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \cos q_1 \cos q_2 + a_1 \cos q_1; \quad (4)$$

$$p_y = -d_6 \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) \cos q_4 \sin q_5 - d_6 \cos q_1 \sin q_4 \sin q_5 - d_6 \sin q_1 \sin(q_2 + q_3) \cos q_5 + a_3 \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_1 \cos q_2 + a_1 \sin q_1; \quad (5)$$

$$p_z = -d_6 \sin(q_2 + q_3) \cos q_4 \sin q_5 + d_6 \cos(q_2 + q_3) \cos q_5 + a_3 \sin(q_2 + q_3) + a_2 \sin q_2 + d_1. \quad (6)$$

Рис. 4. Формулы (4)–(6)

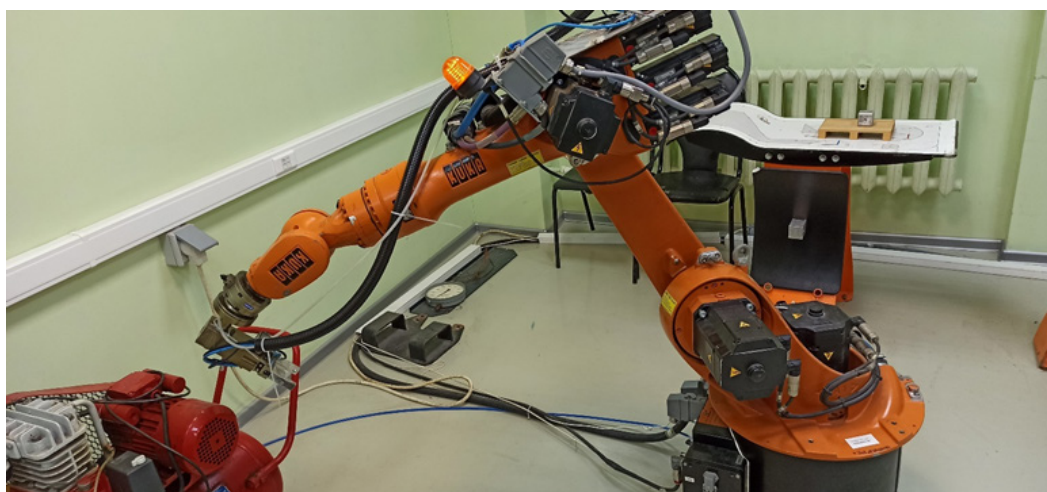


Рис. 5. Позиционирование робота KUKA KR16 для выполнения координатных измерений

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 стандартизованных 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:

$$q_1 = Q_1; \quad q_2 = -Q_2; \quad q_3 = -(90 + Q_3); \quad q_4 = Q_4; \quad q_5 = Q_5; \quad q_6 = Q_6. \quad (7)$$

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 :

$$\begin{aligned} p_x = & -210 * \cos(147.01) * \cos(60.52 - 169.15) * \\ & \cos(174.42) * \sin(-12.76) + 210 * \sin(147.01) * \\ & \sin(-12.76) - 210 * \cos(147.01) * \\ & \sin(60.52 - 169.15) * \cos(-12.76) + \\ & 45 * \cos(147.01) * \cos(60.52 - 169.15) + \\ & 1050 * \cos(147.01) * \cos(60.52) + \\ & 350 * \cos(147.01) = -915.33 \text{ mm}. \\ p_y = & -210 * \sin(147.01) * \\ & \cos(60.52 - 169.15) * \cos(174.42) * \\ & \sin(-12.76) - 210 * \cos(147.01) * \\ & \sin(174.42) * \sin(-12.76) - 210 * \\ & \sin(147.01) * \sin(60.52 - 169.15) * \\ & \cos(-12.76) + 45 * \sin(147.01) * \\ & \cos(60.52 - 169.15) + 1050 * \\ & \sin(147.01) * \cos(60.52) + \\ & 350 * \sin(147.01) = 585.00 \text{ mm}. \\ p_z = & -210 * \sin(60.52 - 169.15) * \\ & \cos(174.42) * \sin(-12.76) + 210 * \\ & \cos(60.52 - 169.15) * \cos(-12.76) + \\ & 45 * \sin(60.52 - 169.15) + 1050 * \\ & \sin(60.52) + 750 = 1599.72 \text{ mm}. \end{aligned}$$

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 рабочий момент времени. Матрицы эти вычисляются геометрическим способом, пользуясь графически продуктивной интерпретацией, представленной схематически на рис. 6. Основное его достоинство состоит 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 Денавита-Хартенберга.

Рис. 4 демонстрирует систему координат робота, построенную согласно его кинематической схеме, где ось Z_p направлена от фланца манипулятора. Координатная система камеры

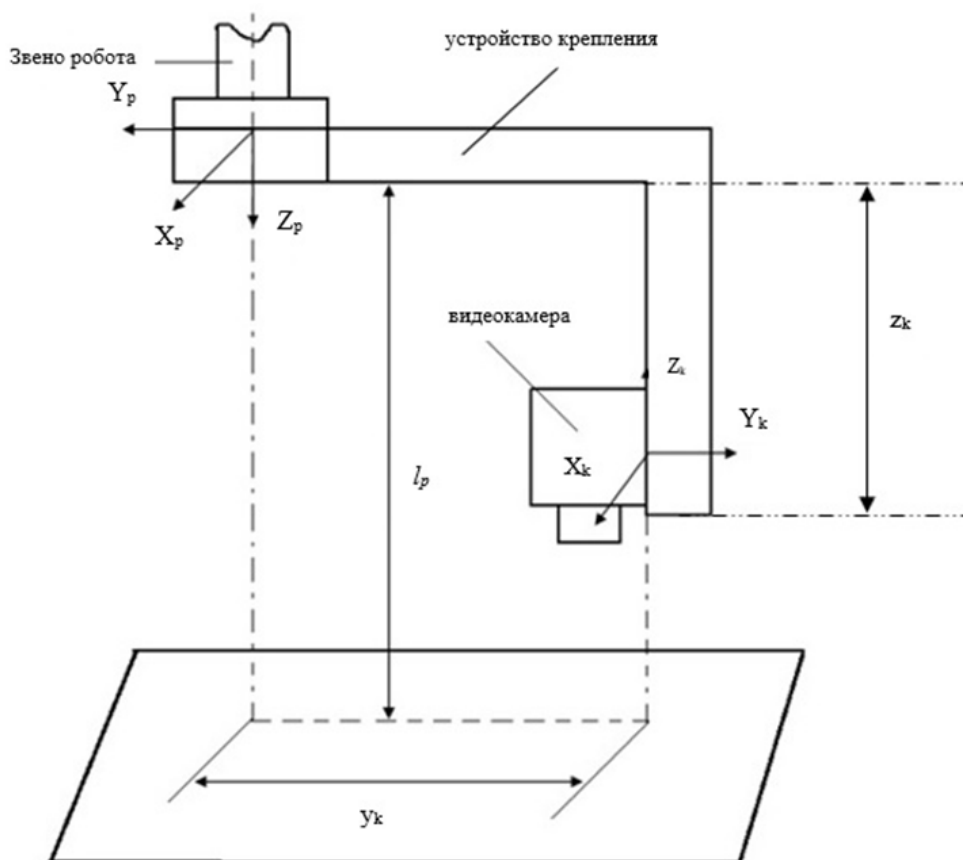


Рис. 6. Относительное позиционирование манипулятора и системы зрения при расчете матриц преобразования

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. Нахождение 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. Вычисление 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

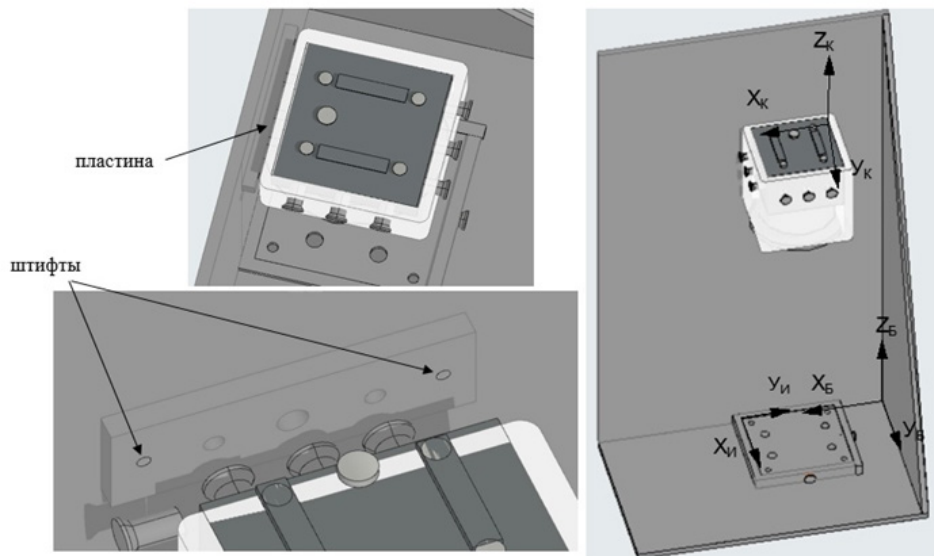


Рис. 7. Распределение систем координат и структурных элементов в пространстве

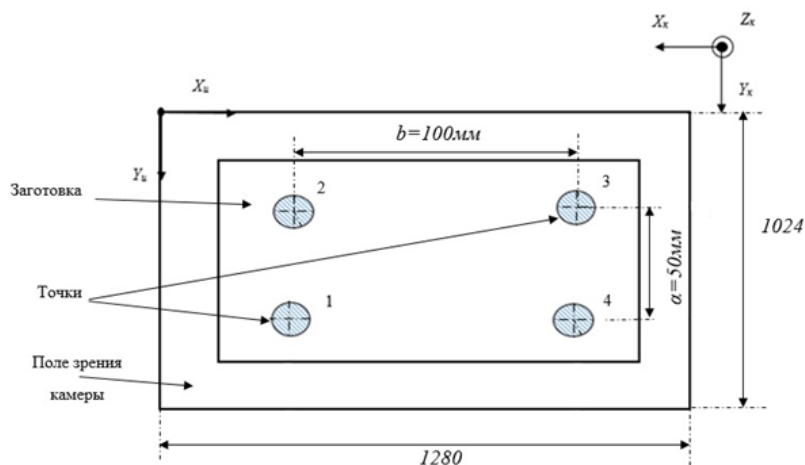


Рис. 8. Тестовая пластина для определения внутренних параметров камеры

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, мы разработали 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. Игнат'ев // 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. Baumana, 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 629.543

И.В. АСТАПОВА

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула

БЫСТРО РАЗВОРАЧИВАЕМЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ключевые слова: боны; нефтетанкер; нефть; утечка.

Аннотация. Целью статьи является разработка комплекса для ликвидации утечек нефти. Для этого был решен ряд задач, в состав которого входили: быстрая локализация разлива нефтепродуктов, возможность автоматизации этого процесса, оценка рентабельности предложенного решения. В процессе исследования был проведен обзор методов борьбы с утечками и разливами нефтепродуктов, в результате чего сделан вывод о том, что выбор метода зависит от масштаба разлива, типа нефти, погодных условий и местоположения аварии. Кроме того, использование суперсорбентов является одним из эффективных методов борьбы с разливом нефтепродуктов. Однако есть ряд ограничений их использования, поэтому их обычно применяют в комплексе с механическими методами. В связи с этим был предложен быстро разворачиваемый комплекс, позволяющий автоматизированно в случае аварии локализовать утечку. Добиться этого возможно за счет использования пускового заряда с отбрасыванием сетки из бонов, которая будет играть роль «сачка», тем самым сможет удержать не только нефть, но и более тяжелые нефтепродукты, которые тонут в морской воде. Таким образом, предложенное решение помогает свести утечки нефти и нефтепродуктов к минимуму в процессе аварии на танкере. Результаты расчетов показывают, что данный комплекс можно собирать из универсального оборудования и устанавливать на суда разных типов и моделей.

Одной из важных проблем современности является загрязнение окружающей среды

нефтепродуктами. Причиной их попадания в окружающую среду могут быть аварийные разливы и различные утечки. Поэтому важной задачей является быстрое устранение разлива, чтобы минимизировать вред, нанесенный природе.

Существует несколько способов борьбы с утечками и разливами нефтепродуктов, выбор которых зависит от масштаба разлива, типа нефти, погодных условий и местоположения [1; 4]. Основные методы представлены на схеме (рис. 1).

Исходя из представленной схемы, можно сделать вывод о том, что использование суперсорбентов является одним из эффективных методов борьбы с разливом нефтепродуктов [3]. Однако есть ряд ограничений их использования, например, ими невозможно собрать уже затвердевший мазут или сложно использовать в дождь. Кроме того необходимо собирать уже отработанные суперсорбенты. Также необходимо помнить, что сорбент используется как вторичный метод очистки от разливов нефти после сбора основного загрязнения механическими методами.

Поэтому их использование нужно проводить в системе с мобильными быстро разворачиваемыми комплексами.

В качестве основной задачи было выбрано не дать нефтепродуктам растечься после аварии, чтобы свести борьбу с последствиями к минимуму.

Для этого необходимо расположить на носу корабля пусковой заряд, который в случае аварии отстреливает боны с сеткой впереди идущего корабля таким образом, чтобы одна часть бонов надувалась за счет сжатого внутри воздуха, а вторая часть тонула и уходила под корабль (рис. 2).

Так как в экстремальной ситуации, напри-



Рис. 1. Методы борьбы с разливом нефти

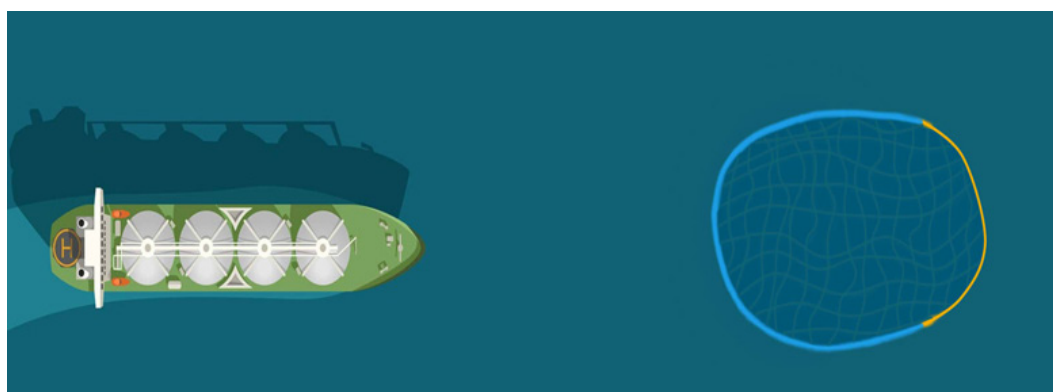


Рис. 2. Отстреленный бон перед кораблем

мер, во время шторма, не будет возможности рассчитывать направление и угол отстреливания пускового заряда, то предусматривается программа расчета этих параметров, включающая следующие переменные: направление и скорость ветра, скорость и вес танкера, плотность водной акватории и т.д. Это поможет ускорить реагирование в экстренной ситуации и сократить часы обучения работы с комплексом при установке на танкер. Комплекс будет срабатывать автоматически при нажатии запуска капитаном.

Боны с сеткой представляют собой «Сачок», в который должен попасть корабль. Принцип раскрытия бонов очень схож с раскрытием

парашюта.

Следует также предусмотреть световые фонарики: габариты на бонах на случай темного времени суток. Таким образом, после того как корабль отстрелялся бонами, он продолжает свое движение и, чтобы не наехать на бонны, у него предусмотрены веера из углепластика – прочного и легкого материала (рис. 3).

Веера располагаются спереди и сзади корабля. За счет того, что веера представляют собой не монолитную конструкцию, а состоящую из блоков, весь комплекс остается на поверхности воды даже в шторм. И тут нефтепродукты могут беспрепятственно собираться сорбентами,

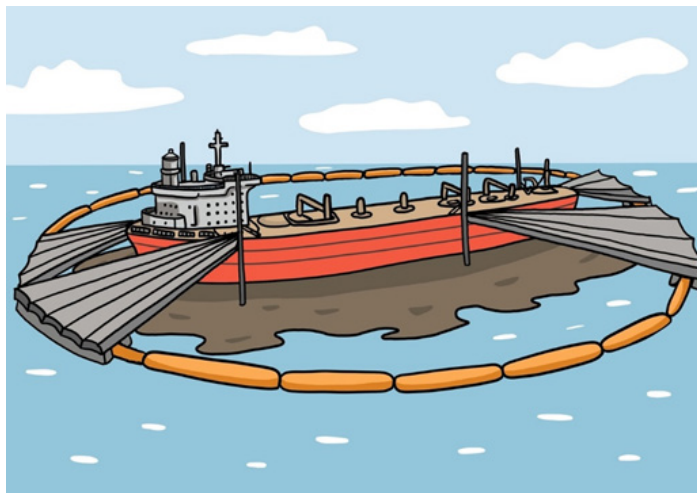


Рис. 3. Нефтетанкер с раскрытыми всерами

которые потом остаются на поверхности, окруженные бонами.

За это время другая половина бонов надувается и корабль оказывается в «сачке». После уже можно использовать сорбенты, чтобы собрать разлившиеся на поверхности нефтепродукты для образования крупных фракций. Если нефтепродукты тонут и сорбенты их не поглотили, то они все равно останутся в сетке.

Предлагается использовать суперсорбент с емкостью 185 г/г (то есть один грамм сорбента способен впитать в себя 185 грамм вещества), полученный методом электроформования.

Этот новый метод получения нетканых материалов из полимеров был опубликован в научном журнале *Fibre chemistry* 13 августа 2024 г. в разделе «Химия волокон», статья «Влияние природы растворителя на морфологию и сорбционные свойства полистирольных нетканых материалов», он разработан учеными НИЦ «Курчатовский институт». Они смогли получить нетканые микроволнистые материалы методом электропрядения из раствора полистирола концентрацией 15–25 мас. % в различных растворителях. Эти материалы имеют супергидрофобные свойства и высокую сорбционную емкость [1].

Данный эффективный суперсорбент, полученный описанным методом из нетканого материала из самого распространенного полимера – полистирола, будет крепиться к сетке с

внутренней стороны. Тем самым будет предотвращено попадание нефтепродуктов в открытое море.

Предложенное решение имеет большую практическую значимость, заключающуюся в следующем.

1. Устраняются разливы нефтепродуктов на большую территорию, тем самым загрязняется меньшая территория.

2. Скорость разворачивания комплекса достаточно высока, возможно раскрыть боны и изолировать корабль с утечкой нефтепродуктов за минуты.

3. Возможность устанавливать комплексы не только на танкеры, но и на пассажирские корабли и т.д.

Говоря о практической значимости также стоит иметь в виду, что все элементы комплекса существуют в настоящее время и являются доступными. Кроме того, внедренное решение имеет только положительные последствия. Для того чтобы рассчитать экономическую эффективность данного решения, был рассмотрен средний по габаритам танкер и учтен запас по 4 м на сторону. Это учитывалось для расчета периметра круга, по которому будут располагаться боны и, конечно, для расчета массы бонов, чтобы определить угол выстрела и на какую высоту необходимо отстрелиться бонами.

Был проведен расчет себестоимости комплекса. Исходя из массы бонов и их габаритов по диаметру, необходимо осуществлять вы-

стрел на высоту около 500 м вверх, поэтому такой пусковой заряд обойдется около 10–12 млн рублей. Кроме того, с учетом всех расходов мы приходим к затратам в 42 млн рублей – это около 500 000 \$. Однако это не такие большие затраты, как кажется на первый взгляд.

Средний по габаритам танкер, для которого велись расчеты, может перевозить от 25 000 т до 44 990 т нефти. Примем, что танкер перевозит 25 000 т нефти. Посчитаем стоимость одной перевозки на танкере с учетом того, что 1 баррель нефти – это 159 л, он стоит примерно 70 \$.

В этом случае $25\,000\,000/159 \cdot 65,5 \approx 10\,300\,000$ \$.

Средний танкер эксплуатируется 15 лет. А за год такой танкер осуществляет в сред-

нем десять поездок. Наш комплекс крепится один раз и используется только в случае аварии. Если за 15 лет авария не произойдет, то его можно снять и перевесить на другой танкер.

Рассчитаем затраты за одну поездку, если использовать эту установку: $500\,000\ \$/150 = 3\,333,3$ \$, что по сравнению со стоимостью перевозки на танкере за один раз в 10 750 000 \$ составляет 0,032 %.

Кроме того, использование данного комплекса устранил расходы на очистку окружающей среды в случае аварии и уменьшит экологическую катастрофу. Таким образом, предложенный быстро разворачиваемый комплекс является эффективным в борьбе с утечками нефти и способен предотвратить экологическую катастрофу.

Список литературы

1. Малахов, С.Н. Влияние природы растворителя на морфологию и сорбционные свойства полистирольных нетканых материалов / С.Н. Малахов, Н.М. Кузнецов, А.Ю. Вдовиченко [и др.] // Химия волокон. – 2024. – Т. 55. – С. 391–397.
2. Байбурдов, Т.А. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 2) / Т.А. Байбурдов, С.Л. Шмаков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 145–153.
3. Павлов, А.В. Исследование сорбентов нефти и нефтепродуктов для ликвидации аварийных разливов нефти в морях арктического региона / А.В. Павлов, Ж.В. Васильева // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 5. – С. 89–94.
4. Любичка, А.В. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов в 2024 году / А.В. Любичка // Труд и охрана труда. – 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.trudobrana.ru/article/104450-23-8m-likvidatsiya-razlivov-nefli-i-nefteproduktov-v-2023-godu>.
5. Front Environ. Sci. Обзорная статья // Frontiers in Environmental Science. – 2022. – Т. 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1033909>.

References

1. Malakhov, S.N. Vliyaniye prirody rastvoritelya na morfologiyu i sorbtionnyye svoystva polistirol'nykh netkanykh materialov / S.N. Malakhov, N.M. Kuznetsov, A.YU. Vdovichenko [i dr.] // Khimiya volokon. – 2024. – T. 55. – S. 391–397.
2. Bayburdov, T.A. Polimernyye sorbenty dlya sbora nefteproduktov s poverkhnosti vodoyemov: obzor angloyazychnoy literatury za 2000–2017 gg. (chast' 2) / T.A. Bayburdov, S.L. Shmakov // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya. – 2018. – T. 18. – № 2. – S. 145–153.
3. Pavlov, A.V. Issledovaniye sorbentov nefli i nefteproduktov dlya likvidatsii avariynykh razlivov nefli v moryakh arkticheskogo regiona / A.V. Pavlov, ZH.V. Vasil'yeva // Problemy regional'noy ekologii. – 2019. – № 5. – S. 89–94.

4. Lyubitska, A.V. Likvidatsiya razlivov nefli i nefteproduktov v 2024 godu / A.V. Lyubitska // Trud i okhrana truda. – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.trudobrana.ru/article/104450-23-8m-likvidatsiya-razlivov-nefli-i-nefteproduktov-v-2023-godu>.

5. Front Environ. Sci. Obzornaya stat'ya // Frontiers in Environmental Science. – 2022. – T. 10 [Electronic resource]. – Access mode : <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1033909>.

© И.В. Астапова, 2025

УДК 621.9.04

И.Н. ХРУСТАЛЕВА, Л.Г. ЧЕРНЫХ, М.Б. ХРУСТАЛЕВ, Я.Ю. БРОВКИНА

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», г. Санкт-Петербург

МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ОБРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗДЕЛИЯ

Ключевые слова: векторный критерий оптимизации; многокритериальная оптимизация; теоретико-множественная модель; технологический маршрут обработки.

Аннотация. Оптимизация параметров технологического маршрута обработки отдельных поверхностей является одной из ключевых задач, решаемых в процессе разработки технологического процесса изготовления изделия. Целью статьи является разработка модели оптимизации параметров технологического маршрута обработки конструкторского элемента. Задачами исследования являются: анализ факторов, влияющих на эффективность процесса формообразования отдельных конструкторских элементов изделия; формирование векторного критерия оптимизации для технологического маршрута обработки конструкторского элемента; формирование теоретико-множественной модели технологического маршрута обработки конструкторского элемента. В работе представлено описание векторного критерия оптимизации процесса формообразования конструкторского элемента, а также множество параметров управления и граничные условия реализации модели. Приведено описание теоретико-множественной модели технологического маршрута обработки конструкторского элемента.

Введение

Каждое изделие в машиностроении, поставляемое в условиях жесткой конкуренции на внутренний и внешний рынок, должно обладать новым уровнем свойств и отвечать требованиям, предъявляемым потенциальным потребите-

лем к функциональным свойствам изделия [1]. Поэтому одной из основных целей для машиностроительных предприятий является постоянное улучшение параметров как самого изделия, так и процесса его изготовления [2].

Современные темпы роста мировой экономики требуют от машиностроительного производства выпуска конкурентноспособной продукции с минимальными временными затратами и высокими эксплуатационными показателями [3]. В нынешних экономических условиях повышение эффективности производственного процесса путем оптимизации технологических параметров является приоритетной задачей для промышленных предприятий [4]. Повышение эффективности обработки возможно за счет совершенствования существующих и создания новых методик назначения режимов обработки, которые позволят улучшить качество продукции, обеспечить высокие эксплуатационные показатели и снизить трудоемкость обработки. Эффективность технологического маршрута обработки конструкторского элемента определяется качеством поверхности, точностью и производительностью. Решению данной научной задачи посвящено большое количество работ, связанных с созданием методов и моделей оптимизации производственных процессов [5–11].

Целью работы является повышение эффективности реализации технологического маршрута обработки отдельного конструкторского элемента за счет многокритериальной оптимизации параметров процесса формообразования.

Теоретико-множественная модель технологического маршрута обработки конструкторского элемента

Определена следующая структура теорети-

ко-множественной модели s -го технологического маршрута формообразования, реализуемого в процессе формообразования q -го конструкторского элемента:

$$TPR_{qs}^{DEl} = \{ \{ (El^{DEl})_{qs}^{TPR} | (El^{DEl})_{qs}^{TPR} \neq \emptyset \}, (V^{KЭ})_{qs}^{TPR}, \\ \{ (M_{con}^{DEl})_{qs}^{TPR} | (M_{con}^{DEl})_{qs}^{TPR} \neq \emptyset \}, \\ \{ (PMen^{DEl})_{qs}^{TPR} | (PMen^{DEl})_{qs}^{TPR} \neq \emptyset \}, \\ \{ (Tr^{DEl})_{qs}^{TPR} | (Tr^{DEl})_{qs}^{TPR} \neq \emptyset \} \},$$

где $(El^{DEl})_{qs}^{TPR}$ – подмножество элементов, формирующих структуру s -го технологического маршрута обработки q -го конструкторского элемента; $(V^{DEl})_{qs}^{TPR}$ – матрица взаимосвязей между элементами s -го технологического маршрута обработки, реализуемого для формообразования q -го конструкторского элемента; $(M_{con}^{DEl})_{qs}^{TPR}$ – подмножество состояний q -го конструкторского элемента, сформированных в процессе реализации s -го технологического маршрута обработки; $(PMen^{DEl})_{qs}^{TPR}$ – подмножество параметров управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента, реализуемого в рамках s -го технологического маршрута обработки; $(Tr^{DEl})_{qs}^{TPR}$ – подмножество целевых показателей, характеризующих процесс формообразования q -го конструкторского элемента, реализуемого в рамках s -го технологического маршрута обработки.

Подмножество элементов, формирующих структуру s -го технологического маршрута формообразования q -го конструкторского элемента, имеет следующую структуру:

$$(El^{DEl})_{qs}^{TPR} = \\ \left\{ \{ TechTr_{qm}^{DEl} | TechTr_{qm}^{DEl} \in (M_{bas}^{DEl})_q^{ЭлПрФорм} \}, \right. \\ \left. (V_{El}^{DEl})_{qs}^{TPR} \right\} \\ (V_{El}^{DEl})_{qs}^{TPR} \cdot (M_{bas}^{DEl})_q^{ЭлПрФорм} = \\ \begin{pmatrix} (v_{TechTr}^{DEl})_1^{TPR} \\ \dots \\ (v_{TechTr}^{DEl})_j^{TPR} \end{pmatrix} \cdot \\ (TechTr_{q1}^{DEl} \dots TechTr_{qm}^{DEl}) = \\ = (v_{TechTr}^{DEl})_1^{TPR} \cdot TechTr_{q1}^{DEl} + \dots + \\ (v_{TechTr}^{DEl})_j^{TPR} \cdot TechTr_{qm}^{DEl} \\ TechTr_{qm}^{DEl} \in (El^{DEl})_{qs}^{TPR}, (v_{TechTr}^{DEl})_j^{TPR} = 1,$$

где $TechTr_{qm}^{DEl}$ – множество параметров, характеризующих m -й технологический переход, выполняемый в процессе изготовления q -го конструкторского элемента; $(M_{bas}^{DEl})_q^{ЭлПрФорм}$ – матрица элементов процесса формообразования, реализуемых в процессе изготовления q -го конструкторского элемента; $(V_{El}^{KЭ})_{qs}^{TPR}$ – матрица параметров соответствия технологических переходов s -му технологическому маршруту обработки; $(v_{TechTr}^{KЭ})_j^{TPR}$, $(v_{TechTr}^{KЭ})_j^{TPR} = 0 \vee (v_{TechTr}^{KЭ})_j^{TPR} = 1$ – j -й параметр соответствия технологического перехода, реализуемого в процессе формообразования q -го конструкторского элемента, s -му технологическому маршруту обработки.

Матрица взаимосвязи между i -м предшествующим технологическим переходом и j -м последующим технологическим переходом, реализуемых в рамках s -го технологического маршрута обработки q -го конструкторского элемента, имеет вид:

$$(V^{DEl})_{qs}^{TPR} = \\ \begin{pmatrix} (v_{TechTr}^{DEl})_{11} & (v_{TechTr}^{DEl})_{21} & \dots \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{12} & (v_{TechTr}^{DEl})_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{1(j-1)} & (v_{TechTr}^{DEl})_{2(j-1)} & \dots \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{1j} & (v_{TechTr}^{DEl})_{2j} & \dots \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{(i-1)1} & (v_{TechTr}^{DEl})_{i1} \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{(i-1)2} & (v_{TechTr}^{DEl})_{i2} \\ \dots & \dots \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{(i-1)(j-1)} & (v_{TechTr}^{DEl})_{i(j-1)} \\ (v_{TechTr}^{DEl})_{(i-1)j} & (v_{TechTr}^{DEl})_{ij} \end{pmatrix},$$

где $(v_{TechTr}^{DEl})_{ij}$ – параметр, характеризующий взаимосвязь i -го предшествующего технологического перехода и j -го последующего технологического перехода, реализуемых в структуре s -го технологического маршрута обработки q -го конструкторского элемента.

Параметр $(v_{TechTr}^{DEl})_{ij} \in [0; (m - 1)]$, $(v_{TechTr}^{DEl})_{ij} \in N$, где m – количество технологических переходов в структуре s -го технологического маршрута обработки, шт. Значение параметра $(v_{TechTr}^{DEl})_{ij} = 0$ характеризует отсутствие взаимосвязи между i -м и j -м технологическими переходами, выполняемыми в структуре s -го технологического маршрута обработки. Значение

ние параметра $1 \leq (v_{TechTr}^{DEL})_{ij} \leq (m-1)$ характеризует наличие взаимосвязи между соответствующими технологическими переходами и определяет порядковый номер их взаимодействия в структуре s -го технологического маршрута обработки.

Подмножество состояний q -го конструкторского элемента, сформированных в процессе реализации s -го технологического маршрута обработки, имеет следующую структуру:

$$(M_{con}^{DEL})_{qs}^{TPR} = \left\{ (Con^{DEL})_{qs}^{TPR} \mid (Con^{DEL})_{qs}^{TPR} \neq \emptyset, \right. \\ \left. (Con^{DEL})_{qs}^{TPR/pr} \mid (Con^{DEL})_{qs}^{TPR/pr} \neq \emptyset, \right. \\ \left. (M_{con}^{DEL})_{qs}^{TPR/int} \right\},$$

где $(Con^{DEL})_{qs}^{TPR/wp}$ – подмножество параметров, характеризующих состояние q -го конструкторского элемента до реализации s -го технологического маршрута обработки; $(Con^{DEL})_{qs}^{TPR/pr}$ – подмножество параметров, характеризующих состояние q -го конструкторского элемента после реализации s -го технологического маршрута обработки; $(M_{con}^{DEL})_{qs}^{TPR/int}$ – подмножество промежуточных состояний q -го конструкторского элемента, сформированных в процессе реализации s -го технологического маршрута обработки.

Подмножество параметров управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента в рамках реализации s -го технологического маршрута обработки имеет следующую структуру:

$$(PMen^{DEL})_{qs}^{TPR} = \\ \left\{ \{Pm_{q1}^{DEL}, \dots, Pm_{qi}^{DEL}\}, (V_{PMen}^{DEL})_{qs}^{TPR} \right\} = \\ \left\{ \left\{ (Type_{PMen}^{DEL})_{qi}, (Vol_{PMen}^{DEL})_{qi}^{min}, (Type_{PMen}^{DEL})_{qi} \in (M_{bas}^{DEL})_q^{PMen} \right\}, \right. \\ \left. (Vol_{PMen}^{DEL})_{qi}^{max} \mid (M_{bas}^{DEL})_q^{PMen} \right\} \\ (V_{PMen}^{DEL})_{qs}^{TPR} \\ (V_{PMen}^{DEL})_{qs}^{TPR} \cdot (M_{bas}^{DEL})_q^{PMen} = \\ \left((v_{PMen}^{DEL})_1^{TPR} \right. \\ \left. \dots \right. \\ \left. (v_{PMen}^{DEL})_j^{TPR} \right)^{TPR} \\ ((Type_{PMen}^{DEL})_{q1} \dots (Type_{PMen}^{DEL})_{qi}) = \\ = (v_{PMen}^{DEL})_1^{TPR} \cdot (Type_{PMen}^{DEL})_{q1} + \dots +$$

$$(v_{PMen}^{DEL})_j^{TPR} \cdot (Type_{PMen}^{DEL})_{qi}, \\ (Type_{PMen}^{DEL})_{qi} \in (PMen^{DEL})_{qs}^{TPR}, \\ (v_{PMen}^{DEL})_j^{TPR} = 1,$$

где Pm_{qi}^{DEL} – i -й параметр управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента; $(Type_{PMen}^{DEL})_{qi}$ – параметр, характеризующий тип i -го параметра управления; $(Vol_{PMen}^{DEL})_{qi}^{min}$ – параметр, характеризующий минимальную величину i -го параметра управления; $(Vol_{PMen}^{DEL})_{qi}^{max}$ – параметр характеризующий максимальную величину i -го параметра управления; $(M_{bas}^{DEL})_q^{PMen}$ – базовая матрица параметров управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента; $(V_{PMen}^{DEL})_{qs}^{TPR}$ – матрица параметров соответствия параметров управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента s -му технологическому маршруту обработки; $(v_{PMen}^{DEL})_j^{TPR}$, $(v_{PMen}^{DEL})_j^{TPR} = 0 \forall (v_{PMen}^{DEL})_j^{TPR} = 1$ – j -й параметр соответствия i -го типа параметра управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента s -му технологическому маршруту обработки.

Подмножество параметров управления процессом формообразования q -го конструкторского элемента, реализуемого в рамках s -го технологического маршрута обработки, имеет следующую структуру:

$$(Tr^{DEL})_{qs}^{TPR} = \\ \left\{ \{Tr_{q1}^{DEL}, \dots, Tr_{qi}^{DEL}\}, (V_{Tr}^{DEL})_{qs}^{TPR} \right\} = \\ \left\{ \left\{ (Type_{Tr}^{DEL})_{qi}, (Vol_{Tr}^{DEL})_{qi} \mid (Type_{Tr}^{DEL})_{qi} \in (M_{bas}^{DEL})_q^{Tr} \right\}, \right. \\ \left. (V_{Tr}^{DEL})_{qs}^{TPR} \right\} \\ (V_{Tr}^{DEL})_{qs}^{TPR} \cdot (M_{bas}^{DEL})_q^{Tr} = \\ \left((v_{Tr}^{DEL})_1^{TPR} \right. \\ \left. \dots \right. \\ \left. (v_{Tr}^{DEL})_j^{TPR} \right)^{TPR} \\ ((Type_{Tr}^{DEL})_{q1} \dots (Type_{Tr}^{DEL})_{qi}) = \\ = (v_{Tr}^{DEL})_1^{TPR} \cdot (Type_{Tr}^{DEL})_{q1} + \dots + \\ (v_{Tr}^{DEL})_j^{TPR} \cdot (Type_{Tr}^{DEL})_{qi}, \\ (Type_{Tr}^{DEL})_{qi} \in (Tr^{DEL})_{qs}^{TPR}, (v_{Tr}^{DEL})_j^{TPR} = 1,$$

где Tr_{qi}^{DEL} – i -й целевой показатель, характеризующий процесс формообразования q -го

конструкторского элемента; $(Type_{Tr}^{DEL})_{qi}$ – параметр, характеризующий тип i -го целевого показателя, характеризующего процесс формообразования q -го конструкторского элемента; $(Vol_{Tr}^{DEL})_{qi}$ – параметр, характеризующий значение i -го целевого показателя, характеризующего процесс формообразования q -го конструкторского элемента; $(M_{баз}^{DEL})_q$ – базовая матрица параметров целевых показателей, характеризующих процесс формообразования q -го конструкторского элемента; $(V_{Tr}^{KЭ})_{qs}^{TPR}$ – матрица параметров соответствия целевых показателей, характеризующих процесс формообразования q -го конструкторского элемента, s -му технологическому маршруту обработки; $(v_{Tr}^{KЭ})_j^{TPR} = 0$ $\forall (v_{Tr}^{KЭ})_j^{TPR} = 1 - j$ -й параметр соответствия i -го типа целевого показателя, характеризующего процесс формообразования q -го конструкторского элемента, s -му технологического маршрута обработки.

Постановка задачи управления параметрами процесса формообразования конструкторского элемента

Определено следующее множество целевых показателей, характеризующих технологический маршрут обработки q -го типа конструкторского элемента:

- параметр, характеризующий величину времени реализации основных и вспомогательных действий в процессе выполнения n -го технологического маршрута обработки – $(T_{TPR}^{DEL})_{qn}$;

- параметр, характеризующий величину операционных затрат, возникающих в процессе выполнения n -го технологического маршрута обработки – $(OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn}$;

- параметр, характеризующий уровень точности исполнения геометрических параметров, описывающих конфигурацию q -го типа конструкторского элемента в процессе реализации n -го технологического маршрута обработки – $(I_{TPR}^{DEL/GPr})_{qn}$;

- параметр, характеризующий точность исполнения параметров текстуры поверхности, сформированных в рамках n -го технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента – $(I_{TPR}^{DEL/SfT})_{qn}$.

Таким образом, векторный критерий оптимизации имеет следующую структуру:

$$F_{KЭ}^{TMO} = ((T_{TPR}^{DEL})_{qn} (U_{TPR}^{DEL}), (OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn} (U_{TPR}^{DEL}), (I_{TPR}^{DEL/GPr})_{qn} (U_{TPR}^{DEL}), (I_{TPR}^{DEL/SfT})_{qn} (U_{TPR}^{DEL})),$$

где (U_{TPR}^{DEL}) – множество параметров управления процессом формообразования конструкторского элемента.

Множество параметров управления (U_{TPR}^{DEL}) имеет следующую структуру:

$$(U_{TPR}^{DEL}) = \{((N_q^{DEL})^{TechTr} | (N_q^{DEL})^{TechTr} \in \mathbb{N}), (PrM_{TechTr}^{DEL})_1, \dots, (PrM_{TechTr}^{DEL})_{qm}\},$$

где $(N_q^{DEL})^{TechTr}$ – параметр, характеризующий количество технологических переходов в структуре технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента; $(PrM_{TechTr}^{DEL})_{qm}$ – параметр, характеризующий метод обработки, применяемый в рамках m -го технологического перехода, формирующего структуру технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента.

Расчет величины целевого показателя $(T_{TPR}^{DEL})_{qn}$ производится по формуле:

$$(T_{TPR}^{DEL})_{qn} = \sum_{m=1}^{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} (T_{TechTr}^{DEL})_{qm},$$

$$(T_{TechTr}^{DEL})_{qm} = (T_{TechTr}^{DEL})_{qm}^{MAc} +$$

$$(T_{TechTr}^{DEL})_{qm}^{Aux} = \frac{(l_{обп}^{DEL})_{qm}^{av} \cdot (h_{qm}^{DEL})_{qm}^{av}}{n_{qm} \cdot s_{qm} \cdot t_{qm}} +$$

$$\frac{(l_{xp}^{DEL})_{qm}^{av}}{v_{уп}},$$

где $(T_{TechTr}^{DEL})_{qm}$ – параметр, характеризующий величину времени реализации действий, выполняемых в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мин.; $(T_{TechTr}^{DEL})_{qm}^{MAc}$ – параметр, характеризующий величину времени реализации основных действий, выполняемых в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мин.; $(T_{TechTr}^{DEL})_{qm}^{Aux}$ – параметр, характеризующий величину времени реализации вспомогательных действий, выполняемых в процессе формообразования q -го

конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мин.; $(l_{\text{обpDel}})_{qm}^{av}$ – параметр, характеризующий среднюю длину поверхности q -го конструкторского элемента, обрабатываемую в рамках m -го технологического перехода, мм; $(l_{\text{обpDel}})_{qm}^{av}$ – параметр, характеризующий среднюю величину припуска, удаляемого в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мм; n_{qm} – параметр, характеризующий величину частоты вращения, устанавливаемую в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, об/мин.; s_{qm} – параметр, характеризующий величину подачи, устанавливаемую в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мм/об; t_{qm} – параметр, характеризующий величину глубины резания, устанавливаемую в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мм; $(l_{\text{хп}}^{DEL})_{qm}^{av}$ – параметр, характеризующий среднюю длину траектории ускоренного перемещения режущего инструмента, выполняемого в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, мм; $v_{\text{уп}}$ – параметр, характеризующий величину скорости, устанавливаемую для реализации ускоренного перемещения в процессе формообразования q -го конструкторского элемента в рамках m -го технологического перехода, м/мин.; –параметр, характеризующий количество технологических переходов в структуре n -го технологического маршрута обработки, шт.

Расчет величины целевого показателя $(OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn}$ производится по формуле:

$$(OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn} = \left(OPEX_{TPR}^{CTI} \right)_{qn} + \left(OPEX_{TPR}^{wag} \right)_{qn} + \left(OPEX_{TPR}^{am} \right)_{qn} + \left(OPEX_{TPR}^{el} \right)_{qn} + (OPEX_{TPR}^{DEL/rep})_{qn},$$

где $(OPEX_{TPR}^{DEL/CTI})_{qn}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на закупку режущего инструмента, применяемого в про-

цессе реализации n -го технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента; $(OPEX_{TPR}^{DEL/wag})_{qn}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на выплату заработной платы производственным рабочим, реализующим n -ый технологический маршрут обработки q -го типа конструкторского элемента; $(OPEX_{TPR}^{DEL/am})_{qn}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на амортизационные отчисления металлообрабатывающего оборудования, применяемого в процессе реализации n -го технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента; $(OPEX_{TPR}^{DEL/el})_{qn}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на оплату электроэнергии, необходимую для реализации n -го технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента; $(OPEX_{TPR}^{DEL/rep})_{qn}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на ремонт и обслуживание металлообрабатывающего оборудования, применяемого в процессе реализации n -го технологического маршрута обработки q -го типа конструкторского элемента.

Расчет величины целевого показателя $(I_{TPR}^{DEL/GPr})_{qn}$ производится по формуле:

$$\left(I_{TPR}^{DEL} \right)_{qn} = \frac{\sum_{m=1}^{(N_{qm}^{DEL})^{TechTr}} \left(I_{TechTr}^{DEL/GPr} \right)_{qm}}{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}},$$

$$\left(I_{TPR}^{DEL/GPr} \right)_{qm} = \sum_{i=1}^f \left(\frac{(Err^{GPr})_{mi}^{TechTr}}{IT_{im}^{GPr}} \cdot \alpha_{im}^{GPr} \right),$$

$$\sum_{m=1}^{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} \alpha_{im}^{GPr} = 1,$$

где $(I_{TechTr}^{DEL/GPr})_{qm}$ – параметр, характеризующий уровень точности исполнения m -го геометрического параметра, описывающего конфигурацию q -го типа конструкторского элемента в процессе реализации m -го технологического перехода; $(N_{qm}^{DEL})^{TechTr}$ – количество геометрических параметров, описывающих конфигурацию q -го

$$\left\{ \begin{array}{l} (T_{TPR}^{DEL})_{qn} = \sum_{m=1}^{(N_{qn}^{K\Delta})^{TexHep}} \left(\frac{(I_{O6p}^{DEL})_{qm}^{av} \cdot (h_{qm}^{DEL})^{av}}{n_{qm} \cdot s_{qm} \cdot t_{qm}} + \frac{(I_{xn}^{DEL})_{qm}^{av}}{v_{yn}} \right) \rightarrow \min, \\ (OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn} = \left(OPEX_{TPR}^{CTI} \right)_{qn} + \left(OPEX_{TPR}^{wag} \right)_{qn} + \left(OPEX_{TPR}^{am} \right)_{qn} + \\ + \left(OPEX_{TPR}^{DEL/el} \right)_{qn} + \left(OPEX_{TPR}^{DEL/rep} \right)_{qn} \rightarrow \min, \\ (I_{TPR}^{DEL/GPr})_{qn} = \frac{\sum_{m=1}^{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} \sum_{i=1}^f \left(\frac{(Err^{GPr})_{mi}^{TechTr}}{IT_{im}^{GPr}} \cdot \alpha_{im}^{GPr} \right)}{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} \rightarrow \min, \\ (I_{TPR}^{DEL/SfT})_{qn} = \frac{\sum_{m=1}^{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} \sum_{j=1}^g (\delta_{mj}^{SfT} \cdot \alpha_{mj}^{SfT})}{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} \rightarrow \max, \\ (T_{TPR}^{DEL})_{qn} \leq (T_{TPR}^{DEL})_q^{bas}, \\ (OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn} \leq (OPEX_{TPR}^{DEL})_q^{bas}, \\ (I_{TPR}^{DEL/GPr})_{qn} \leq 1, \\ (I_{TPR}^{DEL/SfT})_{qn} \leq 1, \\ (Err^{GPr})_{mi}^{TechTr} \leq IT_{mi}^{GPr}, \\ (Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 0 \Rightarrow (P_{mj}^{SfT})^{nom.} - (P_{mj}^{SfT})^{col.} \geq 0, \\ (Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 1 \Rightarrow (P_{mj}^{SfT})^{col.} - (P_{mj}^{SfT})^{nom.} \geq 0. \end{array} \right.$$

Рис. 1. Математическая модель

конструкторского элемента после реализации m -го технологического перехода, шт.; $(Err^{GPr})_{mi}^{TechTr}$ – параметр, характеризующий погрешность исполнения i -го геометрического параметра после реализации m -го технологического перехода, мкм; IT_{im}^{GPr} – параметр, характеризующий величину поля допуска i -го геометрического параметра после реализации m -го технологического перехода, мкм; α_{im}^{GPr} – параметр, характеризующий удельный вес i -го геометрического параметра, сформированного в процессе выполнения m -го технологического перехода.

Расчет величины целевого показателя $(I_{TechTr}^{DEL/SfT})_{qn}$ производится по формуле:

$$(I_{TPR}^{DEL/SfT})_{qn} = \frac{\sum_{m=1}^{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}} (I_{TechTr}^{DEL/SfT})_{qm}}{(N_{qn}^{DEL})^{TechTr}},$$

$$(I_{TechTr}^{DEL/SfT})_{qm} = \sum_{j=1}^g (\delta_{mj}^{SfT} \cdot \alpha_{mj}^{SfT});$$

$$\delta_{mj}^{SfT} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(P_{mj}^{SfT})^{nom.} - (P_{mj}^{SfT})^{col.}}{(P_{mj}^{SfT})^{nom.}}, \\ (Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 0, \\ (P_{mj}^{SfT})^{nom.} - (P_{mj}^{SfT})^{col.} \geq 0, \\ \frac{(P_{mj}^{SfT})^{col.} - (P_{mj}^{SfT})^{nom.}}{(P_{mj}^{SfT})^{nom.}}, \\ (Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 1, \\ (P_{mj}^{SfT})^{col.} - (P_{mj}^{SfT})^{nom.} \geq 0, \end{array} \right.$$

где $(I_{TechTr}^{DEL/SfT})_{qm}$ – параметр, характеризующий точность исполнения параметров текстуры поверхности q -го типа конструкторского элемента в процессе выполнения m -го технологического перехода; δ_{mj}^{SfT} – параметр, характеризующий величину отклонения расчетного

значения j -го параметра, характеризующего текстуру поверхности после реализации m -го технологического перехода, от номинального значения; $(P_{mj}^{SfT})^{col.}$ – параметр, характеризующий расчетное значение j -го параметра текстуры поверхности, сформированного в процессе реализации m -го технологического перехода; $(P_{mj}^{SfT})^{nom.}$ – параметр, характеризующий номинальное значение j -го параметра текстуры поверхности, сформированного в процессе реализации m -го технологического перехода; α_{mj}^{SfT} – параметр, характеризующий удельный вес j -го параметра текстуры поверхности, сформированного в процессе выполнения m -го технологического перехода; g – количество параметров текстуры поверхности, характеризующих свойства q -го конструкторского элемента после реализации m -го технологического перехода; $(Type_j^{CrOpt})^{SfT}$ – параметр, характеризующий характер оптимизации j -го параметра, характеризующего текстуру поверхности.

Определены следующие граничные условия реализации модели:

$$\begin{aligned}(T_{TPR}^{DEL})_{qn} &\leq (T_{TPR}^{DEL})_q^{bas} \\ (OPEX_{TPR}^{DEL})_{qn} &\leq (OPEX_{TPR}^{DEL})_q^{bas} \\ (I_{TPR}^{Del/GPr})_{qn} &\leq 1 \\ (I_{TPR}^{DEL/SfT})_{qn} &\leq 1 \\ (Err^{GPr})_{mi}^{TechTr} &\leq IT_{mi}^{GPr} \\ (Type_j^{CrOpt})^{SfT} &= 0 \Rightarrow\end{aligned}$$

$$(P_{mj}^{SfT})^{nom.} - (P_{mj}^{SfT})^{col.} \geq 0$$

$$(Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 1 \Rightarrow$$

$$(P_{mj}^{SfT})^{col.} - (P_{mj}^{SfT})^{nom.} \geq 0,$$

где $(T_{TPR}^{DEL})_q^{bas}$ – параметр, характеризующий базовое значение трудоемкости реализации технологического маршрута обработки q -го конструкторского элемента, мин.; $(OPEX_{TPR}^{DEL})_q^{bas}$ – параметр, характеризующий базовое значение операционных затрат, возникающих в процессе реализации технологического маршрута обработки q -го конструкторского элемента, руб.

Для оптимизации структуры технологического маршрута обработки определена математическая модель, представленная на рис. 1.

Заключение

Оптимизация целевых показателей технологического процесса является ключевым фактором повышения эффективности процесса изготовления изделия. По результатам исследования была описана теоретико-множественная модель технологического маршрута обработки конструкторского элемента. Оптимизация параметров реализации технологического маршрута обработки конструкторского элемента производится на основе сформированного векторного критерия оптимизации. Также определены множество параметров управления и граничные условия реализации модели.

Список литературы

1. Хрусталева, И.Н. Повышение эффективности технологического процесса сборки на основе имитационного моделирования / И.Н. Хрусталева, Д.П. Гасюк, Л.Г. Черных, С.Н. Степанов, А.А. Лаптев // Наука и бизнес. Пути развития. – 2022. – № 7(133). – С. 147–152.
2. Khrustaleva, I.N. Automating production engineering for custom and small-batch production on the basis of simulation modeling / I.N. Khrustaleva, T.A. Larionova, S.A. Lyubomudrov, L.G. Chernykh, S.N. Stepanov // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1753. – № 012047.
3. Cetin, E. Experimental investigation on mechanical strength of adhesively bonded 3D-printed joints under hygrothermal conditions using Taguchi method / E. Cetin, C.T. Fossi // International Journal of Adhesion and Adhesives. – 2023. – Vol. 126. – Article 103472.
4. Zhang, Y. Big data driven decision-making for batch-based production systems / Y. Zhang, R. Zhang, Y. Wang, H. Guo, R.Y. Zhong, T. Qu, Z. Li // Procedia CIRP. – 2019. – Vol. 83. – P. 814–818.
5. Kostenko, D. Solving Multicriteria Optimization Problem for an Oil Refinery Plant / D. Kostenko, V. Shkodyrev, V. Onufriev // Proceedings of International Scientific Conference on Telecommunications, Computing and Control. – 2021. – P. 131–140.

6. Kostenko, D.A. Multi-criteria optimization of the rectification process using the SPEA2 algorithm / D.A. Kostenko, V.A. Onufriev, V.P. Shkodyrev // Scientific and Technical Statements of SPbSPU. Computer Science. Telecommunications. Management. – 2019. – Vol. 12. – No. 2. – P. 39–49.
7. Kostenko, D. Pareto optimization in oil refinery / D. Kostenko, D. Arseniev, V. Shkodyrev, V. Onufriev // Communications in Computer and Information Science, 2020. – P. 26–33.
8. Yassine, H.M. The intelligent control system of optimal oil manufacturing production / H.M. Yassine, V. Shkodyrev // Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Computational Intelligence and Intelligent Systems. – 2020. – P. 131–135.
9. Ivanov, V.K. Integrated Enterprise Capability Modeling and Management / V.K. Ivanov // Automation and Modern Technologies. – 2012. – No. 7. – P. 34–39.
10. Terechova, A.S. The concept of the methodology for choosing the optimal technology that takes into account the capabilities of a particular production unit / A.S. Terechova, M.L. Petrov // Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov. – 2018. – No. 3. – P. 88–93.
11. Krotov, K.V. Algorithm for the method of branches and boundaries of optimization of job package execution schedules in pipeline system / K.V. Krotov // Information and Control Systems. – 2023. – № 2. – P. 15–26.

References

1. Khrustaleva, I.N. Povysheniye effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa sborki na osnove imitatsionnogo modelirovaniya / I.N. Khrustaleva, D.P. Gasyuk, L.G. Chernykh, S.N. Stepanov, A.A. Laptev // Nauka i biznes. Puti razvitiya. – 2022. – № 7(133). – S. 147–152.

© И.Н. Хрусталева, Л.Г. Черных, М.Б. Хрусталев, Я.Ю. Бровкина, 2025

УДК 621.791.3

А.С. ТЕРЕНТЬЕВ, Е.Е. ДРОКИН, Т.Г. ОРЕШЕНКО

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

ВЕРИФИКАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРИПОЕВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПАЙКИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Ключевые слова: контрафакт; микроструктура; пайка; припой; смачиваемость; текучесть; температура плавления; удельное сопротивление.

Аннотация. Целью данной работы является верификация характеристик припоев, используемых для пайки микроэлектроники. В задачи исследования входило определение растекаемости припоев и температуры плавления, микроструктурный анализ и измерение удельного сопротивления. Сравнение полученных результатов с заявленными характеристиками позволило оценить пригодность данных припоев, уточнить методику проведения входного контроля этих материалов.

Микроструктура паяного соединения имеет решающее значение для его долговременной надежности.

Используемые припои в микроэлектронике должны соответствовать ряду строгих требований по температуре плавления, механической прочности и высокой проводимости тока. Эти характеристики напрямую влияют на надежность, долговечность и функциональность электронных устройств. Однако на практике возникает целый комплекс проблем, связанных с качеством и соответствием припоев заявленным параметрам. Отдельное место занимает проблема фальсификации состава припоев. На рынке электронных компонентов наблюдается увеличение количества контрафактной продукции, в которой заявленный и фактический состав существенно различаются. Данная статья направлена на верификацию существующих припоев, используемых для пайки микроэлектроники.

В работе рассмотрены следующие марки припоев.

1. Индиевый припой $In99.9$ на 99,99 % состоит из индия с минимальным содержанием примесей. Высокая степень чистоты обеспечивает превосходную текучесть при пайке.

2. Оловянно-свинцовый припой $Sn90Pb10$. Подойдет как для традиционной пайки в радиоэлектронике, так и для лужения внутренних швов корпусов приборов, радиаторов и кузовных деталей.

3. Оловянный $Sn99Cu1$ мягкий припой для низкотемпературной пайки широкого спектра металлов.

4. Припой от производителя *KAINA*. В теории состав: олово 63 %, свинец 37 %, флюс $CF-10$. Вследствие контрафакции настоящий состав неизвестен. Флюс в припое отсутствует, скорее всего, большая концентрация свинца, чем было заявлено.

5. Припой $Sn63Pb37$ с флюсом. Состав: олово 63 %, свинец 37 %, флюс $CF-10$. Имеет низкую температуру плавления, удобен в эксплуатации, устойчив при пайке, при этом легко может быть удален при отпаивании.

Методика эксперимента: на очищенную и обезжиренную пластину из омедненного текстолита наносились образцы припоев пяти марок (рис. 1).

Образец на рис. 1а показал неплохую растекаемость на омедненном текстолите, материал выглядит гладким. Присутствуют мелкие раковины и поры, которые свидетельствуют о наличии пузырей, которые образовались при вскипании припоя. Квадрат не сформировался. Образец на рис. 1б показал довольно плохую растекаемость на омедненном текстолите, материал выглядит шероховатым, поры отсутствуют. Присутствует несколько больших раковин. Все они имеют дугообразную форму. Квадрат сформирован хорошо. Образец на рис. 1в показал нормальную растекаемость на омедненном

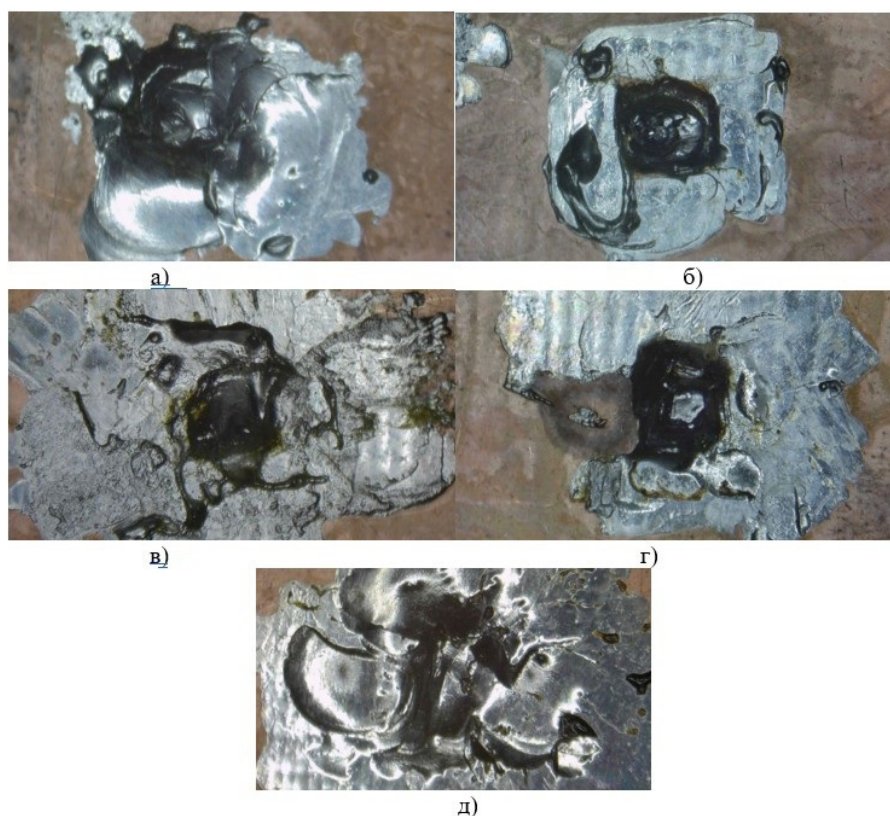


Рис. 1. Образцы расплавленного припоя: а) индий 99,9; б) $Sn90Pb10$; в) $Sn99Cu1$; г) $KAINA$; д) $Sn63Pb33$ с флюсом

Таблица 1. Сравнительные результаты визуального осмотра припоев при температурном воздействии

Образец	Текучесть	Форма	Поверхность	Раковины	Поры	Размягчения/ Температура плавления
Индий 99,9	Средняя	Холм	Гладкая	Несколько мелких	Несколько мелких	$\sim 170^{\circ}\text{C}$
$Sn90Pb10$	Высокая	Квадратная	Шероховатая	Несколько крупных	Практически отсутствуют	$\sim 210^{\circ}\text{C}$
$Sn99Cu1$	Средняя	Холм квадратной формы	Крайне шероховатая	Множество средних	Множество мелких	$\sim 210^{\circ}\text{C}/\sim 240^{\circ}\text{C}$
$KAINA$	Крайне низкая	Квадратная	Шероховатая	Множество средних	Множество мелких	$\sim 200^{\circ}\text{C}/\sim 260^{\circ}\text{C}$
$Sn63Pb37$ с флюсом	Крайне высокая	Холмистая	Слегка шероховатая	Множество мелких	Множество мелких	$\sim 210^{\circ}\text{C}/\sim 250^{\circ}\text{C}$

текстолите, материал выглядит крайне шероховатым, имеется большое количество пор. Присутствуют раковины, идущие из центра. Ква-

драт сформировался плохо. Образец на рис. 1г показал крайне плохую растекаемость на омедненном текстолите, имеет шероховатую по-

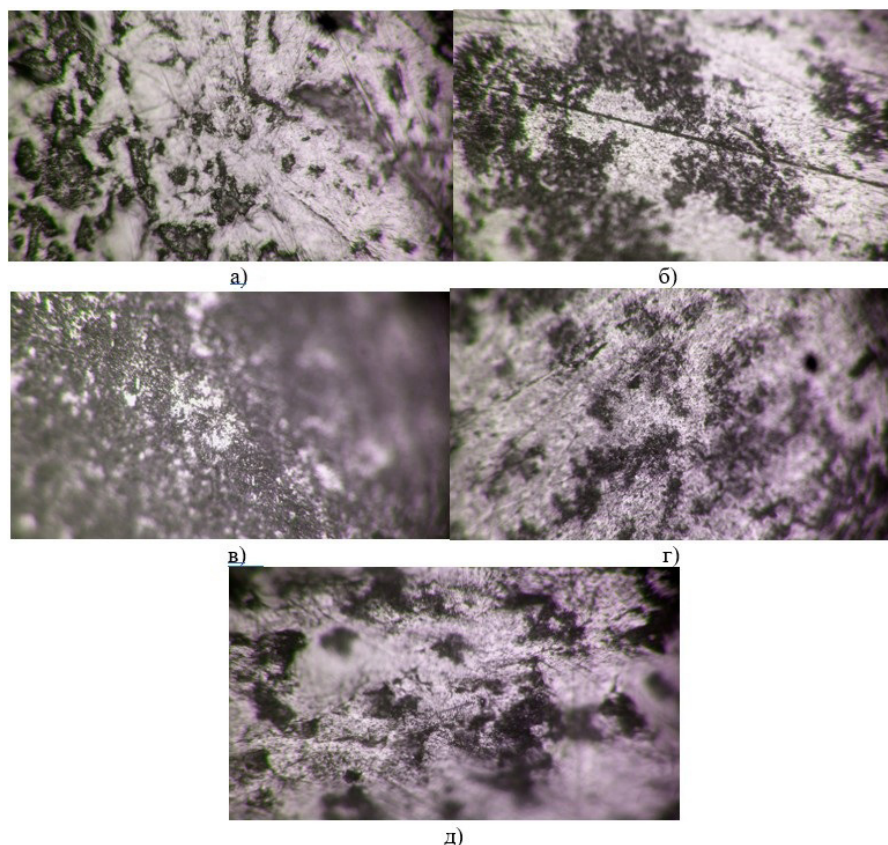


Рис. 2. Микроструктура образцов при увеличении около 400-х: а) индий 99,9; б) $Sn90Pb10$; в) $Sn99Cu1$; г) $KAlNA$; д) $Sn63Pb33$ с флюсом

верхность. Имеются раковины и мелкие поры. В ходе пайки был отломлен небольшой кусок, что свидетельствует об его большой хрупкости. Материал не соответствует заявленным характеристикам. Квадрат хорошо сформирован. Образец на рис. 1д показал прекрасную растекаемость на омедненном текстолите. Материал выглядит слегка шероховатым. Наблюдается большое количество мелких пор и раковин. Квадрат совершенно не сформирован. Материал совершенно отличается от четвертого образца, хотя у них заявлен аналогичный состав.

Следующим шагом стала проверка температуры плавления различных припоев. Методика эксперимента: пластину из омедненного текстолита будем нагревать в местах нанесения припоя с помощью паяльного фена, меняя температуру от 100 до 480 градусов с шагом в 10 градусов. Также при помощи диаграммы состояния будем смотреть, в какой фазе находится образец (свинец и олово). Результаты представлены в табл. 1.

Результаты микроскопии образцов приведе-

ны на рис. 2.

На рис. 2а структура образца однородная, но видны сильные неровности материала вследствие недостаточности его полировки. На рис. 2б структура образца неоднородная, наблюдаются места с большими темными включениями, расположенные хаотично, являющиеся оловом, концентрация примерно 26,89 %. На рис. 2в структура образца однородная, наблюдаются неровности материала из-за некачественной полировки. На рис. 2г структура образца однородная, видны мелкие темные включения олова, распределенные по всему пространству, концентрация примерно 22,04 %. На рис. 2д структура образца неоднородная, присутствуют большие и мелкие темные включения олова, концентрация примерно 41,13 %.

При помощи АКИП-6108 было найдено активное сопротивление каждого из припоев и рассчитано удельное сопротивление. Образец (а) обладает удельным сопротивлением $\rho = 0,0926 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, образец (б) – $\rho = 0,2198 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, образец (в) – $\rho = 0,1199 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, об-

разец (г) – $\rho = 0,252 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, образец (д) – $\rho = 0,1825 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

По результатам проведенных исследований образец (а), состоящий из индия 99,9, удобен для пайки за счет высокой смачиваемости. Его можно применять для пайки электроники там, где важно низкое сопротивление, но при работе с ним всегда необходимо учитывать его мягкость и низкую температуру плавления. Образец (б), состоящий из олова и свинца *Sn90Pb10* продемонстрировал несоответствие заявленным характеристикам по температуре плавления, сопротивлению и микроскопии. Также у него низкая смачиваемость и невысокое качество при пайке, имеет невысокую температуру плавления. Припой низкого качества можно использовать, если это экономически обоснованно. Образец (в), состоящий из *Sn99Cu1* (оловянный), демонстрирует низкое качество шва при пайке, с другой стороны, он обладает высокой текучестью, низким удельным сопротивлением и достаточно высокой температурой плавления. Припой можно использовать там, где необходимо низкое удельное сопротивление, но об-

разец типа (а) не подходит по экономическим соображениям или низкой температуре плавления. Образец (г) продемонстрировал несоответствие заявленному составу. Результаты не соотносятся с результатом пос-37, которым он заявлен, а также не соотносятся с пос-20, схожесть с которым была определена на микроскопии. Это говорит о том, что кроме свинца и олова в припое присутствуют другие элементы в значимом количестве. Сам припой обладает худшей смачиваемостью среди образцов и худшим удельным сопротивлением. Образец (д), состоящий из *Sn63Pb33* с флюсом, в ходе испытаний продемонстрировал лучший показатель текучести и хорошее качество шва. Кроме того, он обладает хорошей температурой плавления, что делает его лучшим выбором для пайки микроэлектроники среди тестовых образцов.

Методика контроля и результаты работы могут быть использованы для организации входного контроля на производстве для повышения качества изделий с использованием припоя.

Список литературы

1. Пайные соединения Kompaswork.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kompaswork.ru/stati/12-stati/63-payanye-soedineniya.html>.
2. Какой припой выбрать Dip8.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dip8.ru/articles/kakoy-priпой-vybrat>.
3. Структура паяных соединений Studfile.net [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/9414714/page:6>.
4. Диаграмма сплавов олово-свинец Studfile.net [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/9796039/page:22>.
5. Припой: основные сведения Radioorda.3dn.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://radioorda.3dn.ru/publ/ludim_pajam/osnovnye_svedeniya/pripoi/12-1-0-34.
6. Классификация припоев Skala.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.skala.ru/articles/klassifikatsiya-pripoev>.
7. Пайка Studfile.net [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/1199891>.

References

1. Paynyye soyedineniya Kompaswork.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://kompaswork.ru/stati/12-stati/63-payanye-soedineniya.html>.
2. Kakoy priпой vybrat' Dip8.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://dip8.ru/articles/kakoy-priпой-vybrat>.
3. Struktura payanykh soyedineniy Studfile.net [Electronic resource]. – Access mode : <https://studfile.net/preview/9414714/page:6>.
4. Diagramma splavov olovo-svinets Studfile.net [Electronic resource]. – Access mode : <https://studfile.net/preview/9796039/page:22>.

5. Pripoi: osnovnyye svedeniya Radioorda.3dn.ru [Electronic resource]. – Access mode : https://radioorda.3dn.ru/publ/ludim_pajaem/osnovnye_svedeniya/pripoi/12-1-0-34.
 6. Klassifikatsiya pripoyev Skala.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.skala.ru/articles/klassifikatsiya-pripoev>.
 7. Payka Studfile.net [Electronic resource]. – Access mode : <https://studfile.net/preview/1199891>.
-

© А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, Т.Г. Орешенко, 2025

УДК 06.71.05

Т.Х. БИДОВ, Н.Д. ИВАНОВ, Д.А. РЕУТОВА, С.М. ПОТАПЕНКО
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Москва

ВАЖНОСТЬ КОРРЕКТНОСТИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ТПМК НА СМЕТНУЮ СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Ключевые слова: дизельные электростанции; метрополитен; сметная стоимость; ТПМК; энергопотребление.

Аннотация. В статье рассматривается важность точного расчета энергопотребления при использовании дизельных электростанций (ДЭС) для питания тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) при строительстве тоннелей Московского метрополитена. Авторы анализируют факторы, влияющие на энергопотребление, методики расчета и последствия ошибок, приводящих к увеличению сметной стоимости. На примере округления мощности ДЭС с 1 659,6 кВт до 1 700 кВт показано, что даже незначительные отклонения могут вызвать переплату до 7,6 млн рублей за 14 месяцев. Предложены рекомендации по оптимизации расчетов и минимизации финансовых рисков.

Строительство тоннелей Московского метрополитена с использованием ТПМК требует бесперебойного энергоснабжения. В условиях отсутствия подключения к централизованным сетям или их недостаточной мощности применяются ДЭС. Корректный расчет потребления электроэнергии в таких условиях критически важен для формирования точной сметной стоимости строительства, минимизации финансовых рисков и оптимизации эксплуатационных расходов.

Цель данной работы заключается в анализе методов расчета электроэнергии, необходимых для определения сметной стоимости при использовании дизельных электростанций в тоннелепроходческих комплексах. В ходе ис-

следования будут рассмотрены традиционные и современные подходы к расчетам, а также выявлены основные ошибки, которые могут возникнуть в процессе.

Ключевыми персонами в данной теме являются проектировщики, инженеры и менеджеры строительных проектов, которые принимают решения на основе расчетов. Их опыт и знания могут существенно повлиять на точность расчетов и, соответственно, на финансовую эффективность проектов. Важно отметить, что актуальность темы выходит за рамки только российского контекста, поскольку проблемы точности расчетов электроэнергии касаются многих стран, где ведется активное строительство подземных объектов.

В рамках данной статьи можно попытаться решить задачи, связанные с разработкой более точных методик расчета потребления электроэнергии, а также оптимизацией распределения ресурсов на строительстве тоннелей ТПМК – это высокотехнологичное оборудование, потребляющее значительное количество электроэнергии. В условиях проходки тоннелей метро часто возникают ограничения по подключению к внешним сетям, что делает ДЭС основным или резервным источником питания.

Факторы, влияющие на энергопотребление:

- мощность ТПМК и вспомогательного оборудования (вентиляция, водоотлив, освещение);
- режим работы (непрерывная проходка, простой, техническое обслуживание);
- градирня, электрообогрев, насос про-

Таблица 1. Расчет количества электроэнергии предназначенного для выработки ДЭС

Наименование нагрузки	Кол-во, шт.	Мощность на ед., кВт	Установленная мощность кВт	Коэффициент спроса	Расчетная мощность, кВт	Планируемое потребление от ДЭС за период (30 суток)	Категория электро-снабжения
ТПМК	1	2 008	2 008	0,70	1 405,6	10 12 032,00	II
Градирия	1	30	30	0,60	18	12 960,00	III
Вентиляционное оборудование	1	150	150	0,80	120	86 400,00	II
Растворобетонный узел (РБУ)	1	30	30	0,60	18	12 960,00	III
Местный водоотлив	1	10	10	0,50	5	3 600,00	III
Центральный водоотлив	1	15	15	0,60	9	6 480,00	III
Насос противопожарной системы	1	11	11	1,00	11	7 920,00	II
Электрообогрев	1	100	100	0,40	40	28 800,00	III
Рабочее освещение тоннеля	1	22	22	1,00	22	15 840,00	II
Аварийное освещение тоннеля	1	11	11	1,00	11	7 920,00	II
ИТОГО			2 387,0		1 659,6	1 194 912	

тивопожарной системы и прочее оборудование.

Методика расчета энергопотребления

1. Определение базовой мощности ТПМК и прочих устройств.

Учитываются паспортные данные устройства, но с поправкой на реальные условия:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{ном}} \times K_{\text{спр}} \times k,$$

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная мощность, кВт; $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность, кВт; $K_{\text{спр}}$ – коэффициент спроса (0,7–1,2); k – кол-во, шт.

2. Планируемое потребление от ДЭС за период (30 суток):

$$Q = P_{\text{расч}} \times t \times n,$$

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная мощность, кВт; Q – пла-

нируемое потребление от ДЭС; t – кол-во часов в сутки, 24 ч; n – кол-во суток, 30 дней.

3. Определяется категория электроснабжения (табл. 1).

Влияние ошибок расчета на сметную стоимость

При расчете необходимой мощности ДЭС для питания ТПМК точность вычислений критически важна. Округление значений может привести к значительному увеличению сметной стоимости.

Исходные данные:

- фактическая расчетная мощность 1 659,6 кВт;
- округленная мощность 1 700 кВт (увеличение на 40,4 кВт);
- тариф на электроэнергию от передвижных электростанций в уровне цен на 2000 г.: 0,91 руб./кВт·ч;
- коэффициент (индекс) перерасчета на

2025 г.: 20,42.

Расчет месячных затрат выглядит следующим образом.

1. По фактической мощности (1659,6 кВт):

$$1659,6 \text{ кВт} \times 24 \times 30 = 1\,194\,912,00 \text{ кВт/час}$$

(расход на 30 дней),

$$1\,194\,912,00 \times 0,91 \times 20,42 = 22\,204\,093,77 \text{ руб.}$$

2. По округленной мощности (1 700 кВт):

$$1\,700 \text{ кВт} \times 24 \times 30 = 1\,224\,000 \text{ кВт/час}$$

(расход на 30 дней),

$$1\,224\,000 \times 0,91 \times 20,42 = 22\,744\,612,80 \text{ руб.}$$

Сравним затраты.

1. Переплата в месяц:

$$22\,744\,612,88 - 22\,204\,093,77 = 540\,519,03 \text{ руб/мес.}$$

2. Расчет переплаты за весь срок строи-

тельства (14 месяцев):

$$540\,519,03 \times 14 = 7\,567\,266,47 \text{ руб.}$$

Корректный расчет энергопотребления ТПМК при работе от ДЭС – ключевой фактор управления сметной стоимостью строительства тоннелей метро. Ошибки приводят к значительному удорожанию проекта, поэтому необходимо применять точные методики, учитывать все факторы и использовать современные системы мониторинга.

Таким образом, корректный расчет энергопотребления ТПМК при работе от ДЭС – ключевой фактор управления сметной стоимостью строительства тоннелей метро. Округление мощности ДЭС даже на 2,4 % (с 1 659,6 до 1 700 кВт) приводит к существенной переплате, необходимо использовать точные расчетные значения без избыточного округления.

Ошибки приводят к значительному удорожанию проекта, поэтому необходимо применять точные методики, учитывать все факторы и использовать современные системы мониторинга.

Список литературы

1. СП 120.13330.2022 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены».
2. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Методические рекомендации по расчету энергопотребления в строительстве.
3. ГОСТ Р 58094-2018. «Источники электроснабжения передвижные. Общие технические условия».
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
5. Методические указания по определению стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации (МДС 81-35.2004).
6. Руководство по проектированию и эксплуатации дизельных электростанций / Под ред. А.В. Климова. – М. : Энергоатомиздат, 2018.
7. Энергосбережение в строительстве: современные технологии и методы расчета / И.П. Гусев. – СПб : БХВ-Петербург, 2019.

References

1. SP 120.13330.2022 «SNiP 32-02-2003 Metropoliteny».
2. Natsional'nyy issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet. Metodicheskiye rekomendatsii po raschetu energopotrebleniya v stroitel'stve.
3. GOST R 58094-2018. «Istochniki elektrosnabzheniya peredvizhnyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya».
4. Pravila ustroystva elektroustanovok (PUE).
5. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu stoimosti stroitel'noy produktsii na territorii

Rossiyskoy Federatsii (MDS 81-35.2004).

6. Rukovodstvo po proyektirovaniyu i ekspluatatsii dizel'nykh elektrostantsiy / Pod red. A.V. Klimova. – M. : Energoatomizdat, 2018.

7. Energoberezheniye v stroitel'stve: sovremennyye tekhnologii i metody rascheta / I.P. Gusev. – SPb : BKHV-Peterburg, 2019.

© Т.Х. Бидов, Н.Д. Иванов, Д.А. Реутова, С.М. Потапенко, 2025

УДК 06.71.05

Т.Х. БИДОВ, Н.Д. ИВАНОВ, Д.А. РЕУТОВА, С.М. ПОТАПЕНКО
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Москва

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ РАЗВИТИИ ТЕРРИТОРИИ

Ключевые слова: комплексное развитие территорий; нормативная продолжительность строительства; оптимизация; сроки строительства.

Аннотация. Представленная статья посвящена актуальной теме – расчету нормативной продолжительности строительства (НПС) в рамках комплексного развития территорий (КРТ). Вопросы КРТ и оптимизации сроков строительства крайне востребованы в современных условиях ускоренного развития городской инфраструктуры. Рассмотрены ключевые факторы, влияющие на расчет сроков: взаимосвязь объектов (параллельное строительство жилья и инфраструктуры), очередность ввода объектов и логистические ограничения. Особое внимание уделено современным подходам, включая ТИМ-моделирование и сетевое планирование, а также нормативной базе. Подчеркивается, что точный расчет НПС при КРТ требует учета технологических, организационных и климатических особенностей, а его оптимизация позволяет минимизировать риски задержек и повысить эффективность реализации масштабных проектов.

Комплексное развитие территорий (КРТ) – это современный подход к градостроительной деятельности, направленный на эффективное использование земельных ресурсов, создание комфортной городской среды и ускоренное возведение объектов инфраструктуры. КРТ предполагает одновременное развитие нескольких видов инфраструктуры: жилой социальной и транспортной. Одним из ключевых аспектов успешной реализации проектов КТР является

точное определение нормативной продолжительности строительства.

Нормативная продолжительность строительства (НПС) – это регламентированный срок, необходимый для возведения объекта с учетом технологических, организационных и климатических факторов. Правильное определение НПС позволяет:

- оптимизировать сроки ввода объектов в эксплуатацию;
- минимизировать риски выхода из графика строительства;
- повысить эффективность управления ресурсами.

В данной статье рассмотрены основные методики расчета нормативной продолжительности строительства при КРТ, их нормативно-правовая база и практическое применение.

Определение нормативной продолжительности строительства регламентируется следующими нормативными документами:

- МДС 12-81.2007 «Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ»;
- СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений»;
- Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ;
- федеральные и региональные стандарты КРТ.

Эти документы устанавливают базовые принципы расчета сроков строительства с учетом категории сложности объекта, климатичес-

ких условий и других факторов.

Основные факторы, влияющие на продолжительность строительства, следующие.

1. Тип объекта и его сложность (здание жилое, общественное или промышленное, какой будет инженерная инфраструктура).

2. Объемно-планировочные решения (этажность, площадь, конструктивные особенности).

3. Природно-климатические условия (сезонность работ, температурный режим, осадки, состояние грунтов).

4. Технология строительства (монолитное, каркасное, панельное строительство).

5. Организационные факторы (логистика, доступность ресурсов, бюджетирование, документация и согласования на строительство).

6. Использование инновационных технологий (модульное строительство, технологии информационного моделирования).

Существует несколько методик расчета нормативной продолжительности строительства.

1. Базовый метод (по МДС 12-81.2007).

Основная формула для определения НПС:

$$T_{\text{норм}} = T_{\text{баз}} \times K_1 \times K_2 \times \dots \times K_n,$$

где $T_{\text{норм}}$ – нормативная продолжительность строительства; $T_{\text{баз}}$ – базовый срок строительства (определяется по справочникам); $K_1, K_2, \dots, K_n$ – поправочные коэффициенты (влияние климата, сложности работ, сезонности и т.д.).

2. Метод сетевого планирования.

Применяется для сложных объектов КРТ и включает:

- разработку календарного графика (Диаграмму Ганта);

- определение критического пути (максимальная продолжительность цепочки работ);

- учет параллельных процессов (совмещение этапов строительства).

3. Использование технологий информационного моделирования (ТИМ) позволяет:

- автоматизировать расчет сроков;
- моделировать различные сценарии строительства;

- минимизировать риски задержек.

Особенности расчета НПС при КРТ

При определении нормативной продолжительности строительства в рамках комплексного развития территорий применяются специальные методики, учитывающие специфику масштабной застройки. В отличие от точечного строительства, КРТ требует комплексного подхода к расчету сроков, так как включает одновременное возведение множества взаимосвязанных объектов. Рассмотрим ключевые особенности.

1. Взаимосвязь объектов и параллельное строительство.

При КРТ возводятся не только жилые здания, но и вся сопутствующая инфраструктура:

- инженерные сети (водоснабжение, канализация, электросети);

- социальные объекты (школы, детские сады, поликлиники);

- транспортная инфраструктура (дороги, парковки, развязки).

Влияние этого фактора на расчет НПС:

- необходимо учитывать технологическую последовательность (например, в жилых домах инженерные коммуникации должны быть готовы до начала отделочных работ);

- параллельное строительство требует точного согласования всех этапов;

- используются матричные методы планирования, при которых сроки выполнения одних объектов зависят от завершения других.

2. Очередность ввода объектов.

КРТ обычно реализуется в несколько очередей, что влияет на общий срок строительства.

Факторы, определяющие очередность:

- приоритетность объектов (жилье → инфраструктура → благоустройство);

- финансирование (позапное выделение средств);

- логистика (ограниченность стройплощадки).

Влияние этого фактора на расчет НПС:

- для каждой очереди рассчитывается отдельный график, который увязывается с общей продолжительностью проекта;

- вводится понятие критического пути.

Пример:

1 очередь (2023–2025 гг.): жилые дома + дороги;

2 очередь (2025–2026 гг.): школа и поликлиника;

3 очередь (2026–2027 гг.): парки и скверы.

3. Логистические ограничения.

При КРТ стройплощадка часто ограничена по площади, что влияет на сроки.

Основные проблемы:

- отсутствие подъездных путей, что затрудняет доставку материалов;

- ограниченное пространство для складирования (требуется точного графика поставок);

- наличие действующих коммуникаций (необходимость их переноса перед началом работ).

Влияние этого фактора на расчет НПС:

- вводятся поправочные коэффициенты на логистику;

- применяются *just-in-time* технологии (поставки материалов строго по графику).

4. Дополнительные факторы, специфичные для КРТ:

- в крупных проектах сроки могут увели-

чиваться из-за длительных процедур согласования с экспертизой;

- сроки могут увеличиваться в связи с сезонностью выполнения работ и климатическими условиями;

- модульное строительство сокращает сроки в среднем на 20–30 %;

- ТИМ-планирование помогает точнее прогнозировать этапы строительства.

Методика определения нормативной продолжительности строительства при комплексном развитии территории требует особого подхода, учитывающего технологические, организационные и климатические факторы. Классические методы здесь дополняются сетевым планированием, логистическими моделями и поправками на этапность застройки. Точный расчет позволяет избежать задержек и оптимизировать затраты на масштабных проектах. Современные технологии и нормативные методы обеспечивают точность планирования, что особенно важно для масштабных проектов комплексного развития территорий.

Список литературы

1. МДС 12-81.2007. «Методические рекомендации по определению продолжительности строительства предприятий, зданий и сооружений».

2. СНиП 1.04.03-85. «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений».

3. Федеральный закон № 373-ФЗ «О комплексном развитии территорий».

4. Ширшиков, Б.Ф. Организация, управление и планирование в строительстве / Б.Ф. Ширшиков. – М. : АСВ, 2020.

5. Теличенко, В.И. Технология возведения зданий и сооружений: Учеб. для строит. вузов / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2004 – 446 с.

6. Челнокова, В.М. Методика разработки и анализа исполнительных календарных графиков при комплексном освоении территории / В.М. Челнокова // ИВД. – 2022. – № 3(87).

7. Аленичева, Е.В. Метод сетевого планирования в строительстве : метод. указ. / сост. : Е.В. Аленичева, И.В. Гиясова, О.Н. Кожухина. – Тамбов : Издво ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 24 с.

References

1. MDS 12-81.2007. «Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu prodolzhitel'nosti stroitel'stva predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy».

2. SNiP 1.04.03-85. «Normy prodolzhitel'nosti stroitel'stva i zadela v stroitel'stve predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy».

3. Federal'nyy zakon № 373-FZ «O kompleksnom razvitii territoriy».

4. Shirshikov, B.F. Organizatsiya, upravleniye i planirovaniye v stroitel'stve / B.F. Shirshikov. – M. : ASV, 2020.

5. Telichenko, V.I. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy: Ucheb. dlya stroit.

vuzov / V.I. Telichenko, O.M. Terent'yev, A.A. Lapidus. – 2-ye izd., pererab. i dop. – M. : Vyssh. shk., 2004 – 446 s.

6. Chelnokova, V.M. Metodika razrabotki i analiza ispolnitel'nykh kalendarnykh grafikov pri kompleksnom osvoyenii territorii / V.M. Chelnokova // IVD. – 2022. – № 3(87).

7. Alenicheva, Ye.V. Metod setevogo planirovaniya v stroitel'stve : metod. ukaz. / sost. : Ye.V. Alenicheva, I.V. Giasova, O.N. Kozhukhina. – Tambov : Izdvo GOU VPO TGTU, 2010. – 24 s.

© Т.Х. Бидов, Н.Д. Иванов, Д.А. Реутова, С.М. Потапенко, 2025

УДК 06.71.05

Т.Х. БИДОВ, Э.Р. РАХМАТУЛЛИНА, Д.А. РЕУТОВА, С.М. ПОТАПЕНКО
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Москва

РАСЧЕТ СРЕДНЕСПИСОЧНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОЧИХ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ СРЕДНЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЫ: ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР И АНАЛИЗ

Ключевые слова: календарный план; капитальный ремонт; строительство; среднесписочная численность; трудозатраты; управление проектами.

Аннотация. Статья посвящена методике расчета среднесписочной численности рабочих при капитальном ремонте школы. В работе исследуют проблемы, связанные с некорректным определением численности персонала при разработке проекта организации строительства (ПОС).

Предложена методика, основанная на анализе сметной документации и трудозатрат по каждому производственному процессу, что позволяет минимизировать погрешности расчетов. В работе приведены практический пример расчета и сводные данные по проекту. Результаты исследования демонстрируют важность точного планирования численности рабочих для соблюдения сроков, бюджета и трудового законодательства.

Капитальный ремонт средней образовательной школы представляет собой сложный и многогранный процесс, требующий тщательного планирования и точного расчета численности рабочих. Проблема заключается в том, что недостаточная или избыточная численность рабочих может привести к неэффективному использованию ресурсов, увеличению сроков выполнения работ и, как следствие, к перерасходу бюджета. В условиях ограниченных финансовых средств и необходимости соблюдения сроков разработка адекватной методики расчета среднесписочной численности рабочих стано-

вится особенно актуальной.

Научная гипотеза состоит в возможности пересмотра расчета среднесписочной численности в рамках разработки ПОС с целью уменьшения погрешности расчета. В заключение будут даны ответы на вопросы о том, какие факторы необходимо учитывать при расчете, как оптимизировать процессы и какие рекомендации можно предложить для повышения эффективности.

Для детализации расчетов среднесписочной численности рабочих при капитальном ремонте школы предлагается использовать методику, основанную на анализе сметной документации и прошедшую государственную экспертизу. В качестве исходных материалов берутся такие данные, как трудозатраты по каждому производственному процессу, нормы времени работ людей, машин и механизмов. Данный подход позволяет учесть специфику работ и минимизировать погрешности, связанные с усреднением показателей.

Формула расчета трудозатрат для отдельного процесса:

$$T_i = V_i \times H_i.$$

Пример расчета для штукатурных работ

Исходя из сметной документации изымаем для расчета среднесписочной численности всю необходимую нам информацию, которая состоит из нормы времени, объема работ и трудозатрат отделочных работ.

Объем работ: $V_i = 500 \text{ м}^2$.

Норма времени: $H_i = 0,8 \text{ человеко-часов/м}^2$.

Трудозатраты: $T_i = 500 \times 0,8 = 400 \text{ человеко-}$

№	Наименование работ	Продолжительность, мес																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Подготовительный период	■																	
2	Замена перекрытий		■	■	■														
3	Ремонт плит перекрытий			■	■	■	■												
4	Замена лифтового оборудования				■	■	■	■	■										
5	Устройство верхних проемов					■	■	■	■	■									
6	Ремонт трещин в стенах						■	■	■	■	■								
7	Ремонтные работы в спортзале							■	■	■	■	■							
8	Ремонт подвала							■	■	■	■	■							
9	Замена перегородок и устройство проемов для коммуникаций								■	■	■	■							
10	Замена подлужков								■	■	■	■							
11	Замена внутренних инженерных систем											■	■	■					
12	Отделочные работы													■	■	■	■	■	■
13	Ремонт пола и потолков														■	■	■	■	■
14	Кровельные работы								■	■	■	■							
15	Фасадные работы												■	■	■	■			
16	Замена входных групп												■	■	■	■			
17	Замена лестниц												■	■	■	■			
18	Замена светового прибора													■	■	■			
19	Замена воздухозаборной шахты														■	■	■		
20	Замена оплотки																■	■	■

Рис. 1. Календарный план-график производства работ

ко-часов.

После этого необходимо перевести трудозатраты в среднесписочную численность. Для определения количества рабочих, необходимых для выполнения процесса за заданный период, используется формула:

$$N_i = DT_i \times h.$$

Для штукатурных работ:

$$N_i = 400 \times 22 \times 8 \approx 2,27 \text{ рабочих.}$$

Округляем до трех рабочих для обеспечения непрерывности процесса.

Сводный расчет по проекту

Для всего проекта суммируются трудозатраты по всем процессам (электромонтажные работы, сантехнические работы, отделочные работы и т.д.), после чего определяется общая среднесписочная численность.

В результате проведенного исследования были определены:

- среднесписочная численность рабочих строителей (96 чел.), максимальная;
- численность рабочих строителей (584 чел.), коэффициент неравномерности;
- распределения трудовых ресурсов ($K_n = 6,08$).

После анализа полученных результатов было принято решение о необходимости оптимизации календарного плана с помощью использования резервов времени.

После проведенной оптимизации календарного плана были получены следующие результаты: среднесписочная численность рабочих строителей (96 чел.), максимальная численность рабочих строителей (232 чел.), коэффициент неравномерности распределения трудовых ресурсов ($K_n = 2,42$).

Учитывая специфику каждого образовательного учреждения, а также требования трудового законодательства, можно минимизировать риски и создать безопасные условия для всех участников процесса. В итоге грамотный подход к расчету численности рабочих не только улучшает результаты капитального ремонта, но и способствует созданию комфорт-

Таблица 1. Пример расчета трудозатрат и численности

Вид работ	Объем (V_i)	Норма времени (H_i)	Трудозатраты (T_i)	Численность (N_i)
Штукатурные	500 м ²	0,8 ч/м ²	400 ч	3
Электромонтажные	300 м ²	1,2 ч/м ²	360 ч	2,5 (≈ 2)
Сантехнические	200 м ²	1,5 ч/м ²	300 ч	1,70 (≈ 2)
Итого			1 060 ч	7 рабочих

Примечание: округление численности проводится в большую сторону для учета возможных простоев и непредвиденных обстоятельств

ной и безопасной образовательной среды, что является главной целью всех усилий в этой области. Расхождение с методом трудозатрат присутствует, что подтверждает корректность предложенной методики. Однако для сложных проектов с неравномерной нагрузкой рекомендуется использовать поэтапный расчет по процессам.

На рис. 1 представлен календарный план, где пиковая нагрузка приходится на седьмой

и восьмой месяцы. Для исключения простоев предлагаются гибкое распределение рабочих между процессами, введение сменного графика при ограниченных сроках.

Таким образом, предложенная методика, основанная на детальном анализе трудозатрат, позволяет точнее планировать бюджет и сроки, минимизировать риски нехватки/избытка рабочей силы и улучшить контроль за соблюдением трудового законодательства.

Список литературы

1. Росстат. Приказ от 16.12.2024 № 647 «Об утверждении Указаний по заполнению формы федерального статистического наблюдения № П-4 «Сведения о численности и заработной плате работников», п. 14.
2. Росстат. Приказ от 31.07.2024 № 338 (ред. от 30.01.2025) «Об утверждении форм федерального статистического наблюдения для организации федерального статистического наблюдения за численностью и оплатой труда работников организаций».
3. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ.
4. СП 48.13330.2011. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004.
5. Дудкин, Ю.В. Определение влияния производственных показателей на среднесписочную численность посредством применения корреляционного анализа на примере основных цехов АО «ВТЗ» / Ю.В. Дудкин // Актуальные вопросы управления металлургическим предприятием.
6. Бидов, Т.Х. Методика оценки факторов, влияющих на эффективность реализации строительного проекта генподрядной организацией в направлении Fit-out / Т.Х. Бидов, А.О. Хубаев, Е.А. Помятко, А.Д. Котельникова // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19. – № 9. – С. 1562–1569.
7. Бидов, Т.Х. Оптимизация процессов, связанных с производством земляных работ, при строительстве здания методом «up-down» / Т.Х. Бидов, В.С. Коновалов, К.С. Басяйкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 5. – С. 246–254.
8. Бидов, Т.Х. Комплексное обследование объекта социального назначения для разработки проекта усиления конструкций здания / Т.Х. Бидов, А.О. Хубаев, Р.С. Фатуллаев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 12. – С. 385–390.

References

1. Rosstat. Prikaz ot 16.12.2024 № 647 «Ob utverzhdenii Ukazaniy po zapolneniyu formy federal'nogo statisticheskogo nablyudeniya № P-4 «Svedeniya o chislennosti i zarabotnoy plate rabotnikov», p. 14.
2. Rosstat. Prikaz ot 31.07.2024 № 338 (red. ot 30.01.2025) «Ob utverzhdenii form federal'nogo statisticheskogo nablyudeniya dlya organizatsii federal'nogo statisticheskogo nablyudeniya za chislennost'yu i oplatoy truda rabotnikov organizatsiy».
3. Federal'nyy zakon «O tekhnicheskoy regulirovani» ot 27.12.2002 № 184-FZ.
4. SP 48.13330.2011. Organizatsiya stroitel'stva. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 12-01-2004.
5. Dudkin, YU.V. Opredeleniye vliyaniya proizvodstvennykh pokazateley na srednespisochnyuyu chislennost' posredstvom primeneniya korrelyatsionnogo analiza na primere osnovnykh tsekhov AO «VTZ» / YU.V. Dudkin // Aktual'nyye voprosy upravleniya metallurgicheskimi predpriyatiyem.
6. Bidov, T.KH. Metodika otsenki faktorov, vliyayushchikh na effektivnost' realizatsii stroitel'nogo proyekta genpodryadnoy organizatsiyey v napravlenii Fit-out / T.KH. Bidov, A.O. Khubayev, Ye.A. Pomytko, A.D. Kotelnikova // Vestnik MGSU. – 2024. – T. 19. – № 9. – S. 1562–1569.
7. Bidov, T.KH. Optimizatsiya protsessov, svyazannykh s proizvodstvom zemlyanykh rabot, pri stroitel'stve zdaniya metodom «up-down» / T.KH. Bidov, V.S. Kononov, K.S. Basyaykina // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2020. – Vyp. 5. – S. 246–254.
8. Bidov, T.KH. Kompleksnoye obsledovaniye ob"yektov sotsial'nogo naznacheniya dlya razrabotki proyekta usileniya konstruktsiy zdaniya / T.KH. Bidov, A.O. Khubayev, R.S. Fatullayev [i dr.] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2022. – № 12. – S. 385–390.

© Т.Х. Бидов, Э.Р. Рахматуллина, Д.А. Реутова, С.М. Потапенко, 2025

УДК 06.71.05

Т.Х. БИДОВ, Д.А. РЕУТОВА, Э.Р. РАХМАТУЛЛИНА, С.М. ПОТАПЕНКО
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет», г. Москва

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ

Ключевые слова: аддитивные технологии; инновации; логистика; оптимизация; организация строительства; производительность труда; 3D-печать.

Аннотация. Современные технологии, такие как 3D-печать, кардинально меняют строительную отрасль, повышая эффективность, снижая затраты и сокращая сроки возведения объектов. В статье подробно рассматривается организация строительства с применением 3D-печати, включая основные аспекты логистики, управления ресурсами и оптимизации человеческого труда. Также подчеркивается устойчивость аддитивных технологий к внешним факторам и погодным условиям. Приводятся примеры отечественной и зарубежной практики работы со строительными принтерами и анализируются экономические выгоды, включая сокращение сроков строительства и уменьшение производственных отходов.

Сегодня строительная отрасль сталкивается с рядом глобальных проблем, среди которых рост стоимости материалов и рабочей силы, дефицит квалифицированных кадров во многих странах, экологические требования к сокращению углеродного следа, необходимость ускорения темпов и объемов строительства. Современные технологии трансформируют строительную отрасль, и 3D-печать занимает среди них особое место. Этот метод позволяет создавать сложные конструкции с высокой точностью и минимальными затратами времени и ресурсов. Технология 3D-печати кардинально меняет организацию строительных процессов. В данной статье рассмотрим, как применение 3D-печати влияет на логистику, управление ресурсами, потребность в рабочей силе и устойчивость строительства к внешним факторам.

3D-печать, или аддитивное производ-

ство, – это процесс создания трехмерных объектов путем послойного нанесения материала. В строительстве для этого используются специальные принтеры, которые могут работать с бетоном, полимерами, металлами и другими материалами. Принтеры управляются компьютерными программами, что позволяет создавать конструкции с высокой точностью (до 1–5 мм) и минимальными отклонениями от проектных параметров.

Основные материалы, используемые при 3D-печати: специальные бетоны, геополимеры, глиняные составы.

Существует несколько основных типов принтеров: порталные, роботизированные ручные, кран-принтеры.

Технология печати строительных конструкций способствует оптимизации строительных процессов и их организации. Особую актуальность технология приобретает в контексте строительства доступного жилья, быстрого возведения объектов в зонах происшествий чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий, реализации сложных архитектурных проектов и автоматизации ряда строительных процессов.

Рассмотрим влияние 3D-печати на логистику и управление ресурсами.

1. Кардинальное сокращение цепочек поставок.

Традиционное строительство требует сложной системы поставок (кирпич, железобетонные изделия (ЖБИ), металлоконструкции, утеплители и т.д.) и подразумевает необходимость хранения материалов на строительной площадке, что занимает до 30 % площади под складирование и влечет за собой высокие логистические издержки (до 15–20 % от стоимости проекта). Отличительной особенностью аддитивных технологий является то, что основной строительный материал – это одна или несколько специализированных смесей, пример состава которых приведен ниже:

Таблица 1. Сравнение потребности строительных материалов

Параметр	Традиционный метод производства работ	Аддитивные технологии
Количество видов материалов	Более 25	3–5
Количество фур/поставок	Более 50	8–10
Место под складирование	50 м ²	10 м ²

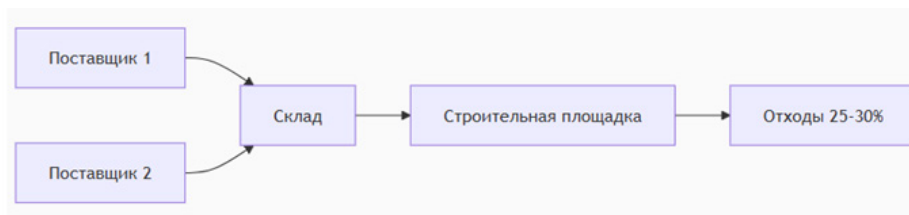


Рис. 1. Традиционная модель строительства

- базовый компонент (цемент/геополимер) – 40–60 %;
- наполнители (песок, керамика) – 30–50 %;
- модификаторы (пластификаторы, волокна) – 5–10 %.

Для сравнения количества требуемых строительных материалов рассмотрим строительство дома площадью 100 м² (табл. 1).

2. Инновационные подходы к снабжению.

Технология дает возможность локализации производства смесей, используются местные материалы, что влечет за собой снижение транспортного плеча с 300+ км до 30–50 км:

- песок и глина в радиусе 50 км;
- переработанные отходы (стекло, бетонный бой).

Пример из зарубежного опыта: сырье может быть изготовлено из переработанных материалов. Так, итальянская компания по 3D-печати WASP изготовила дом из натуральной грязи, смешанной с отходами местного производства риса, которые включали измельченную солому и рисовую шелуху.

Помимо нетрадиционного для современного строительства сырья, в 3D-печати используется высокотехнологичная разработка – «строительный картридж». Это предварительно подготовленные сухие смеси в мешках, создающие систему «под ключ»: 1 картридж дает 1 м³ готовой конструкции и включает в себя автома-

тическую дозировку воды и добавок. Преимуществами являются минимизация отходов, связанная с точностью подсчетов объемов работ и выполнением строительно-монтажных работ (СМР), и упрощение складирования в виде штабелируемых контейнеров.

3. Цифровая трансформация управления ресурсами.

ТИМ-интеграция позволяет автоматически рассчитывать потребности в материалах и внедрять динамическую корректировку при изменении проекта и в процессе печати с помощью датчиков контроля показателей (расход смеси, прочность слоя по сопротивлению, влажность и температура). В то время как традиционные методы строительства влекут за собой 10–15 % перерасхода материалов, 3D-печать имеет лишь 1–3 % отклонения.

4. Сравнительный анализ логистических моделей.

Традиционная модель строительства представлена на рис. 1.

Модель при 3D-печати изображена на рис. 2.

При применении аддитивных технологий получается следующий экономический эффект:

- снижение затрат логистики на 40–60 %;
- снижение складирования на 70–80 %.

3D-печать способствует оптимизации человеческих ресурсов.

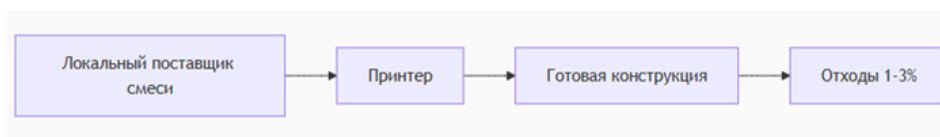


Рис. 2. Модель при 3D-печати

При традиционном строительстве требуется множество рабочих различной специальности и квалификации: каменщики, монтажники, разнорабочие.

С 3D-печатью требуются 1–3 оператора для контроля работы принтера и 2–3 специалиста для завершающих работ – установки окон, дверей, прокладки коммуникаций. Таким образом, типичная строительная бригада уменьшается с 15–50 человек до 3–5, и коэффициент сокращения трудовых ресурсов для объектов средней сложности составляет 75–85 %. Примерный состав бригады для строительства с использованием аддитивных технологий: инженер-технолог (контроль параметров, корректировка процессов, отчетность, взаимодействие с технологиями информационного моделирования (ТИМ), оператор принтера (загрузка материалов, мониторинг печати, техническое обслуживание), лаборант (контроль смесей для строительного принтера), монтажник-универсал (постобработка, монтаж окон, дверей, инженерных систем, завершающие работы).

Сравнив выработку на одного рабочего, можно сделать вывод о росте производительности труда в 7–8 раз при применении технологии 3D-печати:

- традиционное строительство: 2,5 м²/день;
- 3D-печать: 18–22 м²/день.

Максимальная автоматизация рутинных процессов и сокращение количества людей на строительной площадке ведут к положительному следствию – снижению ошибок и неточностей строительства вследствие человеческого фактора и к снижению травматизма за счет:

- уменьшения опасных работ на высоте;
- отсутствия тяжелого физического труда, связанного с переносом тяжестей и кладочными работами.

3D-печать снижает зависимость строительства от погодных условий.

На данный момент существует несколько проблем, связанных с особенностями технологических процессов, например:

- бетонные работы приостанавливаются при отрицательных температурах или же требуют сложных процессов усиления конструкций до набора прочности и обогрева бетона;
- дождь и ветер затрудняют кладочные и отделочные работы по фасаду;
- высокая влажность ухудшает качество строительных материалов и нарушает технологию строительства.

Преимущества 3D-печати:

- закрытые строительные площадки: принтер может работать в ангаре или под временным навесом;
- быстрое возведение конструкций (дом печатается за дни, а не недели) с уменьшением рисков из-за непогоды;
- специальные смеси (например, с добавками для быстрого затвердевания) позволяют работать при низких температурах.

Примерами являются строительство напечатанного дома в Ярославле в зимний период при температуре –100 °С и компания из Дании *COBOD*, тестирующая 3D-печать в холодном климате.

3D-печать преобразует строительную отрасль, предлагая решения ключевых проблем – от доступности жилья до устойчивого развития. Аддитивные технологии способствуют значительному сокращению используемых ресурсов – материальных, трудовых и финансовых, а также оптимизируют весь процесс строительства. Технология еще не стала массовой, но уже сейчас очевидно: 3D-печать – будущее строительной отрасли, где эффективность и автоматизация выходят на первый план.

Список литературы

1. Алексанин, А.В. Использование аддитивных технологий при возведении зданий / А.В. Алексанин, А.И. Маркевич // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2017. – № 6.

2. Абрамов, А.Д. Использование инновационных технологий повышения качества строительных проектов / А.Д. Абрамов, А.Г. Дмитриев // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 5.
3. ГОСТ Р 57558-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы.
4. Погодин, Д.А. Основы технологического моделирования в строительстве / Д.А. Погодин, А.В. Ищенко, Т.Х. Бидов [и др.]. – М. : Издательство АСВ, 2022. – 134 с.
5. Зыбина, Н.С. Инновационные технологии в строительстве : практика и потенциал / Н.С. Зыбина // Заметки ученого. – 2016. – № 3(9). – С. 47–49.
6. Воловик, М.В. Инновационные решения организации технологии строительства / М.В. Воловик // Технология и организация строительного производства. – 2013. – № 4(5). – С. 28–29.
7. Лapidус, А.А. Проблемы внедрения инновационных решений в технологии и организации строительства / А.А. Лapidус // Технология и организация строительного производства. – 2013. – № 4(5). – С. 1. 44.
8. Лapidус, А.А. Современные методы технологии и организации строительного производства и проблемы энергоэффективности / А.А. Лapidус // Технология и организация строительного производства. – 2014. – № 2. – С. 1.

References

1. Aleksanin, A.V. Ispol'zovaniye additivnykh tekhnologiy pri vozvedenii zdaniy / A.V. Aleksanin, A.I. Markevich // Vestnik BGTU imeni V. G. Shukhova. – 2017. – № 6.
2. Abramov, A.D. Ispol'zovaniye innovatsionnykh tekhnologiy povysheniya kachestva stroitel'nykh proyektov / A.D. Abramov, A.G. Dmitriyev // Innovatsii i investitsii. – 2023. – № 5.
3. GOST R 57558-2017. Additivnyye tekhnologicheskiye protsessy. Bazovyye printsipy.
4. Pogodin, D.A. Osnovy tekhnologicheskogo modelirovaniya v stroitel'stve / D.A. Pogodin, A.V. Ishchenko, T.KH. Bidov [i dr.]. – M. : Izdatel'stvo ASV, 2022. – 134 s.
5. Zyбина, N.S. Innovatsionnyye tekhnologii v stroitel'stve : praktika i potentsial / N.S. Zyбина // Zаметки uchenogo. – 2016. – № 3(9). – S. 47–49.
6. Volovik, M.V. Innovatsionnyye resheniya organizatsii tekhnologii stroitel'stva / M.V. Volovik // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. – 2013. – № 4(5). –S. 28–29.
7. Lapidus, A.A. Problemy vnedreniya innovatsionnykh resheniy v tekhnologii i organizatsii stroitel'stva / A.A. Lapidus // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. – 2013. – № 4(5). – S. 1. 44.
8. Lapidus, A.A. Sovremennyye metody tekhnologii i organizatsii stroitel'nogo proizvodstva i problemy energoэффективности / A.A. Lapidus // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. – 2014. – № 2. – S. 1.

© Т.Х. Бидов, Д.А. Реутова, Э.Р. Рахматуллина, С.М. Потапенко, 2025

УДК 004.89

А.Р. ВИШНЕВЕЦКИЙ, А.П. ТЮКОВ, С.М. ХАРИНА, А.М. МАЛЬЦЕВ, К.Г. ПОНОМАРЕВ
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Ключевые слова: адаптивность; анализ данных; автоматизация; городская инфраструктура; интеграция; интеллектуальные системы; климатические риски; моделирование; онтологический подход; прогнозирование; умный город; управление рисками; устойчивость; экстремальные погодные явления.

Аннотация. Целью данной обзорной статьи является анализ потенциала онтологического подхода в управлении климатическими рисками, с которыми сталкиваются города в условиях глобального изменения климата. Гипотеза исследования заключается в том, что онтологическое моделирование способно повысить эффективность систем мониторинга, анализа и принятия решений за счет интеграции разнородных данных и выявления семантических связей между элементами городской инфраструктуры и климатическими факторами.

В рамках исследования рассматриваются следующие задачи: проанализировать существующие подходы к использованию онтологий в области климатологии и городской устойчивости; определить ключевые элементы, подлежащие онтологическому описанию; выделить преимущества и ограничения применения онтологий для оценки и прогнозирования климатических рисков.

Методами исследования выступают сравнительный анализ научной литературы, классификация существующих онтологических моделей и анализ их применения в задачах устойчивого развития городов.

В результате проведенного анализа выявлены ключевые направления использования онтологий в контексте климатической устойчивости городской среды, обозначены перспективы внедрения интеллектуальных систем управления и даны рекомендации по дальнейшему развитию онтологического инструментария для поддерж-

ки принятия решений в условиях климатической нестабильности.

Введение

Глобальные изменения климата приводят к росту частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, создавая серьезные угрозы для городской инфраструктуры. Отсутствие автоматизированных систем управления и высокая зависимость от человеческого фактора приводят к увеличению затрат и повышенному риску ошибок, которые могут иметь критические последствия. Внедрение современных методов анализа и прогнозирования позволяет не только повысить эффективность управления городской средой, но и минимизировать потенциальные риски.

В последние годы создание и использование онтологий становятся все более востребованными в контексте сложных систем. Это наиболее ярко проявляется в таких сферах, как инфраструктура и городское развитие. В этих областях традиционно доминируют разрозненные и отраслевые подходы, которые ограничивают потенциал интеграции для решения важных социальных проблем [1].

Проблема, лежащая в основе данного исследования, заключается в отсутствии унифицированного и формализованного подхода к интеграции, интерпретации и анализу климатических рисков в городской среде, основанного на связанной и машинно-обрабатываемой структуре знаний.

Основная цель работы – обобщение и систематизация существующих знаний в области управления городской инфраструктурой, что может послужить основой для последующего построения онтологии городской среды.

Понятие климатических природных бедствий в урбанизированной среде

Под климатическими природными бедствиями в урбанизированной среде понимаются экстремальные климатические и метеорологические явления, возникающие в результате глобальных и региональных изменений климата и оказывающие существенное воздействие на элементы городской инфраструктуры, функционирование систем жизнеобеспечения и здоровье населения.

К числу таких бедствий относятся наводнения, продолжительные периоды аномальной жары, штормовые явления, засухи, резкие температурные перепады и иные атмосферные аномалии. Характерной особенностью климатических бедствий в городах является их мультидисциплинарное воздействие, охватывающее инженерные, экологические, социальные и экономические аспекты.

Интеграция городских данных в онтологических моделях

Научная значимость работы заключается в рассмотрении онтологического подхода как основы для создания структурированной модели знаний, способной обеспечить семантическую совместимость данных из различных источников и поддержать интеллектуальный анализ климатических рисков. Использование онтологий позволяет систематизировать информацию о климатических явлениях, объектах городской инфраструктуры и их взаимосвязях, создавая основу для автоматизированных рассуждений и поддержки принятия решений.

Города обладают огромным объемом данных, которые могут стимулировать инновации и обеспечивать поддержку принятия решений – от стратегического планирования до повседневных операций. Несмотря на обилие данных, они часто остаются разрозненными [3].

Связанные и обогащенные данные можно рассматривать как стратегический актив, позволяющий принимать обоснованные решения в режиме реального времени и открывающий возможности для автоматизации. Однако настоятельная интероперабельность требует не просто объединения данных из разных доменов, источников и временных измерений, но и создания онтологических моделей знаний, позволяющих проводить комплексный анализ кросс-

доменных эффектов [5].

Методология разработки базы знаний и онтологий для анализа городской среды

Объединение изолированных источников данных позволяет как людям, так и программным агентам принимать более обоснованные решения, особенно если различные источники данных дополняют друг друга.

Разработка онтологий обычно не является целью самой по себе, а происходит с учетом конкретных задач, таких как семантический поиск, логическое рассуждение или обеспечение междоменной совместимости. Для оценки, насколько онтология адекватно описывает интересующую нас область, часто используется методика формулировки компетентностных вопросов, на которые онтология должна давать четкие ответы. Хорошо сформулированные компетентностные вопросы должны охватывать как общие концепции, так и частные экземпляры, а также их взаимодействие. Удовлетворение этим вопросом является одним из критериев для оценки пригодности предложенной онтологии [4].

Подходы к разработке онтологий

Разработка онтологии в контексте управления климатическими рисками требует четкого понимания, какие аспекты городской инфраструктуры должны быть учтены и как они взаимодействуют с климатическими явлениями. Онтология должна моделировать такие элементы, как здания, транспортные сети, экосистемы, а также климатические параметры – температура, осадки и загрязнение воздуха.

Процесс разработки онтологии может следовать одному из нескольких методов (в зависимости от целей и доступных ресурсов). Наиболее распространенные подходы включают «сверху вниз», «снизу вверх» и гибридный подход.

Сверху вниз (*Top-down*) – подход, начинающийся с определения высокоуровневых концептов, таких как «климатические угрозы» и «городская инфраструктура», и переходящий к более детализированным категориям, например, «температурные колебания» или «повреждения зданий». Такой подход позволяет создать общую модель, которая может быть адаптирована к различным типам рисков.

Снизу вверх (*Bottom-up*) – подход, ориентированный на анализ конкретных данных, таких как характеристики отдельных зданий или районов города. Этот подход позволяет строить детализированные модели, фокусирующиеся на специфических рисках для определенных территорий и объектов инфраструктуры.

Гибридный подход сочетает оба предыдущих, начиная с высокоуровневых концептов и затем интегрируя данные о специфических рисках, что позволяет создать более гибкую и адаптируемую модель для городского управления климатическими рисками.

Процесс разработки онтологии для управления климатическими рисками следует итеративному процессу, который включает следующие этапы:

- определение области применения – на этом этапе важно ясно понимать, какие климатические риски нужно моделировать в городской инфраструктуре;
- идентификация основных концептов и их взаимосвязей (необходимо выделить ключевые элементы городской инфраструктуры и их связи с климатическими угрозами);
- кодирование в *OWL* – после определения концептов и их взаимосвязей онтология кодируется в формате *Web Ontology Language (OWL)*, который позволяет строить логически согласованные и совместимые модели, подходящие для автоматизированного анализа и рассуждений.

Компетентностные вопросы

Одним из важных инструментов для проверки качества онтологии являются компетентностные вопросы. Это вопросы, на которые онтология должна дать четкие и однозначные ответы, что позволяет оценить, насколько она охватывает все аспекты управления климатическими рисками.

Эти вопросы помогают определить, насколько онтология отвечает задачам моделирования климатических рисков и насколько она пригодна для формирования обоснованных рекомендаций для управления климатическими угрозами.

Таким образом, онтологический подход к управлению климатическими рисками в городской инфраструктуре является мощным инструментом для интеграции разрозненных данных, что позволяет повысить точность и своевремен-

ность прогнозирования, а также улучшить процесс принятия решений для создания устойчивых и адаптивных городских систем [2].

Результаты

В рамках настоящего исследования была проведена систематизация подходов к онтологическому моделированию климатических рисков в городской среде. На основе анализа современных методов и практик описан поэтапный процесс разработки онтологии, ориентированной на задачи интеграции климатических данных и управления городской инфраструктурой.

Рассмотренные подходы показывают, как онтологическая модель может применяться для формализации знаний о взаимосвязи климатических факторов и уязвимых компонентов городской инфраструктуры. Также обоснована необходимость использования итеративного процесса разработки и учета существующих онтологических стандартов для обеспечения совместимости и масштабируемости решений.

Обсуждение

Результаты показывают, что онтологическая модель обеспечивает не только структурирование информации, но и реальное повышение эффективности при анализе климатических рисков. Основное преимущество – это возможность перехода от разрозненных данных к системному знанию, пригодному для автоматического анализа.

Онтология обеспечивает семантическую совместимость между климатическими, инженерными и социальными источниками данных, что критически важно для принятия решений в реальном времени. Кроме того, онтологический подход легко масштабируется и может использоваться в других городах, адаптируясь к специфике инфраструктуры и доступных данных.

В то же время были выявлены ограничения: создание онтологии требует времени, квалифицированных специалистов и глубокой предметной экспертизы. Также остается задачей внедрение таких моделей в существующие муниципальные ИТ-системы, что требует институциональной поддержки.

Заключение

Онтологический подход демонстрирует

высокую эффективность в задачах управления климатическими рисками в городской инфраструктуре. Он обеспечивает не только интеграцию разнородных источников данных, но и возможность адаптивного моделирования, логического анализа и принятия решений.

Разработка и внедрение таких онтологий могут стать основой для «умного» климатически ориентированного управления городом, где система в автоматическом режиме отслеживает

изменения, оценивает риски и предлагает меры реагирования. Это особенно важно в условиях быстро меняющегося климата и усложняющейся городской среды.

В дальнейшем целесообразно развивать методы автоматической генерации онтологий на основе данных, а также разрабатывать интерфейсы для интеграции с цифровыми двойниками городов и системами поддержки принятия решений.

Список литературы/References

1. Akroyd, J. Universal digital twin: Land use / J. Akroyd, Z. Harper, D. Soutar, F. Farazi, A. Bhawe, S. Mosbach, M. Kraft // *Data-Centric Engineering*. – 2022. – Vol. 3. – Article e3.
2. Bai, J. A derived information framework for a dynamic knowledge graph and its application to smart cities / J. Bai, K.F. Lee, M. Hofmeister, S. Mosbach, J. Akroyd, M. Kraft // *Future Generation Computer Systems*. – 2024. – Vol. 152. – P. 112–126.
3. Chadzynski, A. Semantic 3D city database – An enabler for a dynamic geospatial knowledge graph / A. Chadzynski, N. Krdzavac, F. Farazi, M.Q. Lim, S. Li, A. Grisiute, P. Herthogs, A. von Richthofen, S. Cairns, M. Kraft // *Energy and AI*. – 2021. – Vol. 6. – Article 100106.
4. Kipkemboi, W. Development of a Web-GIS Platform for Environmental Monitoring and Conservation of the Muringato Catchment in Kenya / W. Kipkemboi, B. Kuria, D. Kuria, A. Sichangi, C. Mundia, J. Wanjala, S. Muthee, M. Goebel, A. Rienow // *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. – 2024. – Vol. 7. – Article 13.
5. Li, W. Performance benchmark on semantic web repositories for spatially explicit knowledge graph applications / W. Li, S. Wang, S. Wu, Z. Gu, Y. Tian // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2022. – Vol. 98. – Article 101884.

УДК 664.6/7

Ю.Н. ВОЛОШИН, И.А. НОГЕРОВ

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
имени Х.М. Бербекова», г. Нальчик

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПО ПРИЗНАКУ ДЛИНЫ

Ключевые слова: диаграмма Парето; зерновая смесь; значимый фактор процесса; признак разделения; факторный эксперимент; цилиндрический триер; уравнение регрессии.

Аннотация. В работе представлены результаты исследования процесса разделения зерновой смеси по признаку длины. Выбраны факторы процесса разделения и диапазоны их варьирования. На основании экспериментальных данных получено уравнение, описывающее процесс разделения, определены значимые факторы процесса и их оптимальные значения. Экспериментальные данные и данные, полученные расчетом по уравнению регрессии с учетом только значимых факторов, отличаются незначительно, что указывает на правильность построенной регрессионной модели процесса разделения зерновой смеси по признаку длины.

Введение

Послеуборочная зерновая масса представляет собой сложную многокомпонентную систему, в которой кроме основного зернового компонента содержатся битые зерна, семена сорных растений, примеси минерального происхождения, металломагнитные примеси и т.д. [1].

Для выделения каждого вида примеси используются различные технологические схемы и соответствующее оборудование. Признаками разделения зерновой смеси могут быть геометрические размеры, физические и аэродинамические свойства зерна и примесей [2].

Разделение зерна и примесей по признаку длины осуществляется на зерноочистительных машинах – триерах. В триерах мелкая фракция попадает в ячейки рабочей поверхности триера,

а крупная фракция сходом выводится из триера. В кукольных триерах мелкой фракцией являются мелкие семена сорных растений и битое зерно, в овсюжных триерах мелкой фракцией является зерно [3].

Постановка задачи

В ряде работ представлены материалы по классификации зерновых смесей различными методами [4–7], которые могут быть дополнены данным исследованием.

Наибольшее распространение в послеуборочной очистке зерновой смеси по признаку длины получили цилиндрические триеры, схема разделения в которых представлена рис. 1.

При вращении триерного цилиндра короткие составляющие зерновой смеси захватываются ячейками триерной поверхности, поднимаются на определенный угол (угол выпадения – α_1) и выпадают в лоток, из которого за пределы триера выводятся шнеком. Длинные частицы не захватываются ячейками триерной поверхности и за счет силы трения на гладкой поверхности триерного цилиндра поднимаются на определенный угол (угол скольжения – α_2), а затем соскальзывают вниз и сходом выводятся из триерной установки. Если угол скольжения длинной фракции меньше угла выпадения короткой фракции, то возможно полное разделение зерновой смеси по признаку длины (случай «а»), в противном случае возможно лишь частичное разделение (случай «б»).

Основными факторами, влияющими на качество очистки зерновой смеси, являются число оборотов триерного цилиндра (кинематический режим работы триера), угол установки лотка, а также исходная засоренность зерновой смеси и величина загрузки триера [2; 3; 8]. Кинематический режим работы триера определяется кинематическим коэффициентом (K):

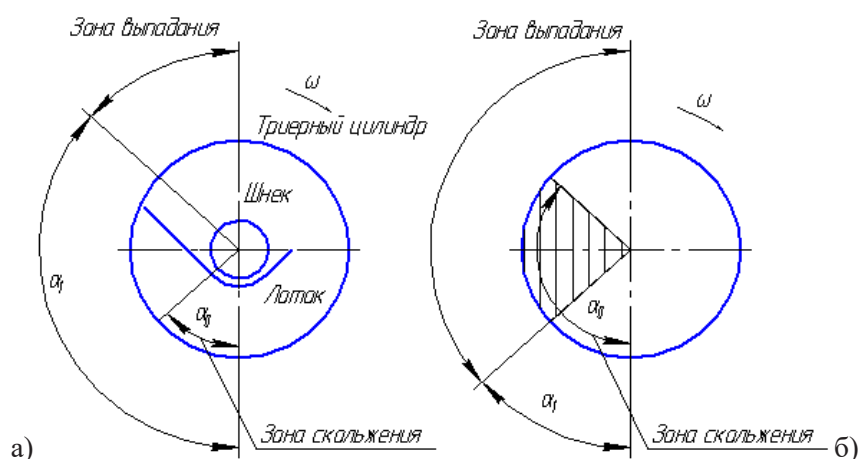


Рис. 1. Качественная диаграмма принципа работы и делимости зерновой смеси: а) зоны скольжения и выпадания не пересекаются (полное разделение); б) зоны скольжения и выпадания пересекаются (частичное разделение)

$$K = \frac{\omega^2 R}{g}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения триерного цилиндра, с^{-1} ; R – радиус триерного цилиндра, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Угол скольжения длинной составляющей определяется формулой:

$$\alpha_0 = \phi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 R}{g} \sin \phi\right), \quad (2)$$

где ϕ – угол трения материала зерновки о поверхность триерного цилиндра, град.

Угол выпадения короткой составляющей из ячейки триерного цилиндра определяется формулой:

$$\alpha_1 = \alpha + \arcsin\left(\frac{\omega^2 R}{g} \cos \alpha\right), \quad (3)$$

где α – угол поворота триерного цилиндра, при котором происходит выпадение коротких частиц из ячеек без учета кинематического фактора (угол наклона стенки ячейки к горизонтали становится больше угла трения), град.

В работе [8] приведены основные сведения о конструктивных особенностях цилиндрических триеров и возможных путях повышения

эффективности их работы. В работах [9–11] приведены результаты исследований процесса разделения зерновой смеси в цилиндрических триерах с целью повышения качества разделения и повышения производительности процесса.

В работе [12] проводится анализ делимости зерновой смеси на лабораторном цилиндрическом триере при фиксации кинематического фактора (число оборотов триерного цилиндра) на среднем уровне и изменении геометрического фактора (угол установки лотка), также фиксировались засоренность зерновой смеси и величина загрузки триера. Однако для учета всех факторов процесса триерирования и их взаимодействия необходимо использовать методику математического планирования эксперимента.

Методы и материалы исследования

Для анализа процесса делимости зерновой смеси по признаку длины был спроектирован и изготовлен лабораторный цилиндрический триер, представленный на рис. 2.

Лабораторный триер включает сменный триерный цилиндр (куколе и овсюгоотборник), внутри которого находятся лоток и выводящий шнек. Привод с клиноременным вариатором позволяет устанавливать число оборотов триерного цилиндра в соответствии с матрицей планирования эксперимента представленной в табл. 1. Механизм установки лотка также обеспечивает диапазон углов установки лотка в со-

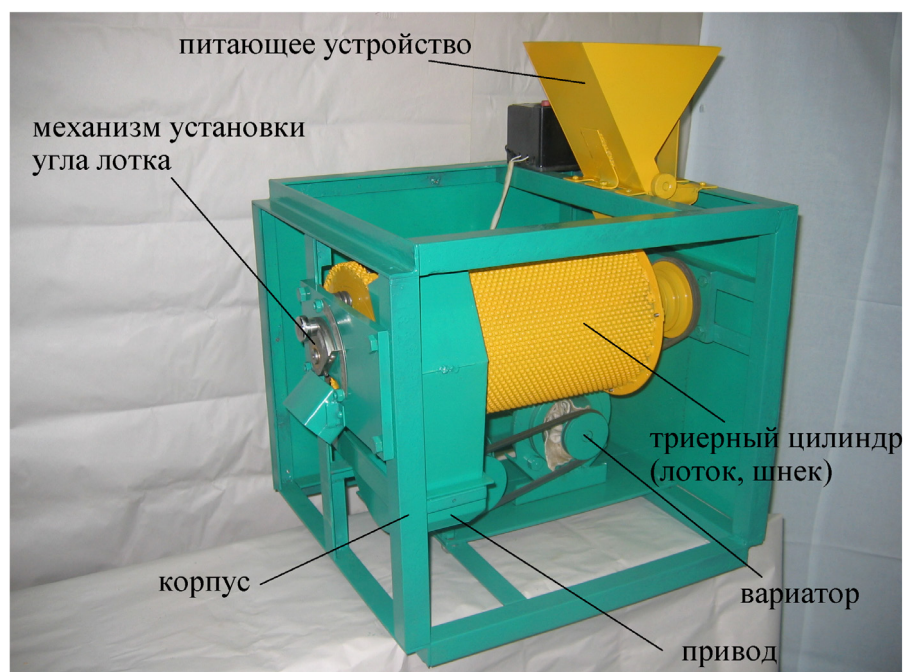


Рис. 2. Лабораторный цилиндрический триер

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента

Интервал варьирования и уровень факторов	Число оборотов цилиндра, X_1 (n, мин ⁻¹)	Угол установки лотка, X_2 (α, град.)	Исходная засоренность, X_3 (g ₁ , %)	Загрузка триера, X_4 (Q, кг)
Нулевой уровень, $x_i = 0$	70	110	10	1,0
Интервал варьирования, δ_i	25	30	5	0,5
Нижний уровень, $x_i = -1$	45	80	5	0,5
Верхний уровень, $x_i = +1$	95	140	15	1,5

ответствии с матрицей планирования эксперимента.

В работе использовался двухуровневый полный факторный эксперимент (ПФЭ) – 2^4 . Триер работал в режиме куколеотборника, за выходной параметр оптимизации (функцию отклика) принималась полнота выделения куколя в лотке триера, обработка экспериментальных данных проводилась в программе *Statistica*.

Полученные результаты

Уравнение регрессии разделения зерновой смеси в триерном цилиндре куколеотборника имеет вид:

$$Y = 48,5333 + 0,2900x_1 + 0,0933x_2 - 1,8533x_3 - 14,7167x_4 + 0,0020x_1x_2 - 0,00040x_1x_3 - 0,0600x_1x_3 + 0,0017x_2x_3 + 0,0083x_2x_4 + 0,7000x_3x_4. \quad (4)$$

Результаты анализа уравнения регрессии по критерию Фишера представлены в табл. 2.

Коэффициент детерминации показывает, что на 96,84 % функция отклика уравнения регрессии зависит от выбранных факторов процесса, а рассчитанное значение критерия Фишера $F = 3,571E-08$ менее 5 % уровня значимости (0,05), что подтверждает значимость коэффициента детерминации R^2 . Поэтому факторы процесса выбраны обоснованно, а уравнение регрессии соответствует эксперименталь-

Таблица 2. Результаты анализа по критерию Фишера (5 % уровень значимости)

Регрессионная статистика	
Коэффициент детерминации R^2	0,968355918
Нормированный R -квадрат	0,956848979
Стандартная ошибка	0,3030151511
Количество экспериментов	16

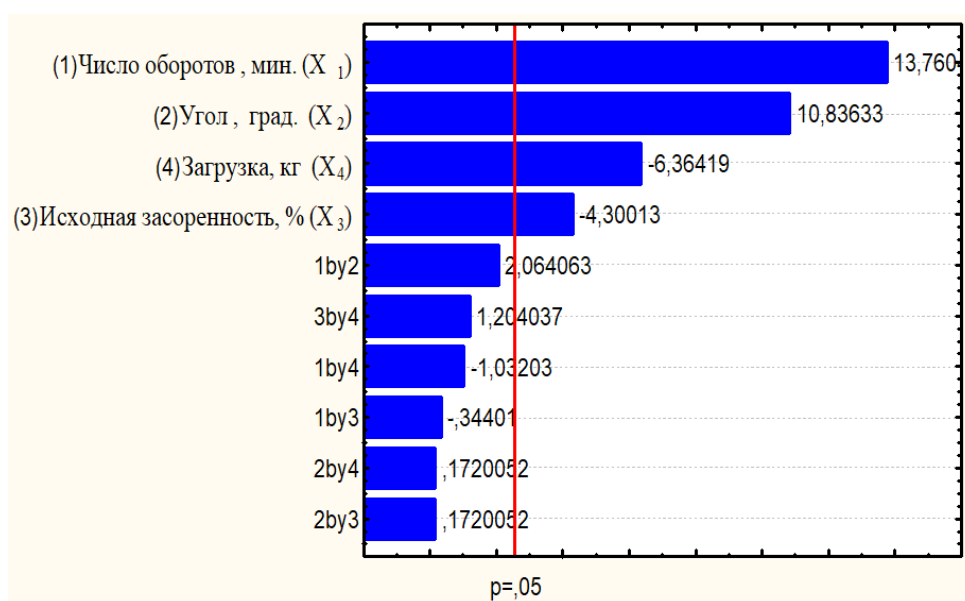


Рис. 3. Диаграмма Парето

ным данным.

Значимость коэффициентов уравнения регрессии можно оценить по диаграмме Парето, представленной на рис. 3.

Из диаграммы Парето следует, что при статистическом уровне значимости $p = 0,05$ значимы факторы процесса и незначимы их взаимодействия. Наибольшее влияние на функцию отклика оказывает число оборотов триерного цилиндра, наименьшее – исходная засоренность зерновой смеси. Уравнение регрессии с учетом только значимых факторов имеет вид:

$$Y = 48,5333 + 0,2900x_1 + 0,0933x_2 - 1,8533x_3 - 14,7167x_4. \quad (5)$$

Результаты экспериментальных данных и данные, полученные расчетом по уравнению

регрессии с учетом только значимых факторов, представлены на рис. 4.

Анализ рис. 4 показывает достаточно точное совпадение экспериментальных и расчетных значений функции отклика, что указывает на адекватность построенной регрессионной модели процесса разделения зерновой смеси по признаку длины.

Оптимальные значения параметров процесса для максимальной полноты выделения определяются в программе *Excel/Solver* методом Ньютона решением оптимизационных нелинейных задач. Данные расчетов представлены в табл. 3.

Выводы

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что полученное

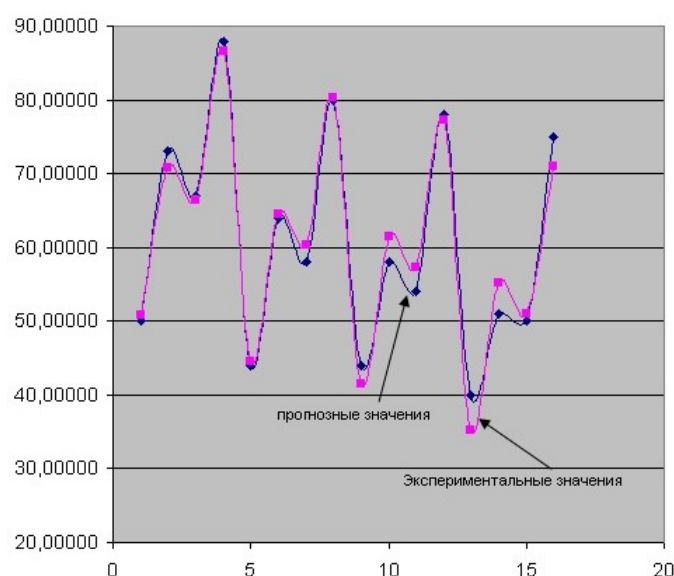


Рис. 4. Графики экспериментальных и расчетных значений функции отклика

Таблица 3. Оптимальные значения факторов процесса

Оптимальные значения факторов	
Число оборотов n , мин ⁻¹ (X_1)	95
Угол α , град (X_2)	140
Исходная засоренность g_1 , % (X_3)	10
Загрузка Q , кг (X_4)	0,5
Целевая функция – полнота выделения ϵ , % (y)	86,5

уравнение регрессии линейного вида адекватно описывает процесс разделения зерновой смеси по признаку длины, выбранные факторы процесса значимы, парные взаимодействия факто-

ров процесса незначимы. Наибольшее влияние на процесс разделения играют факторы числа оборотов цилиндра триера и угол установки лотка.

Список литературы

- 1 Жиругов, Р.Т. Зерновое хозяйство КБР / Р.Т. Жиругов. – Нальчик : Полиграфсервис, 2001. – 198 с.
- 2 Чеботарев, О.Н. Технология муки, крупы и комбикормов / О.Н. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. – М. : ИКЦ Март, Ростов – н /Д : «Издательский центр Март», 2004. – 688 с.
- 3 Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна / под ред. Глебова Л.А.– М. : ДеЛи принт, 2010. – 696 с.
- 4 Злочевский, В.Л. К обоснованию способа фракционирования зерновых материалов / В.Л. Злочевский // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 40 – № 1. – С. 75–80.
- 5 Voloshin, Yu.N. Study of the Separability of the Cereal Mixture on Velocity / Yu.N. Voloshin, M.Ts. Didanov, M.M. Nagoev, R.T. Kipov // 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS) 4-11 Oct. 2016. – P. 260–263.

6. V.I. Orobinsky et. al. 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 640 022046.
7. Волошин, Ю.Н. Анализ делимости зерновой смеси / Ю.Н. Волошин, И.А. Ногеров // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 3(153). – С. 71–75.
8. Егоров, В.Г. Триеры, модернизация или классика / В.Г. Егоров, А.В. Подзоров // Вестник ФГОУ МГАУ. – 2008. – № 1. – С. 44–47.
9. Васильева, О.П. Повышение эффективности разделения зерновой смеси путем оптимизации параметров и режимов работы триера с переменной угловой скоростью вращения цилиндра: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.П. Васильева. – Киров, 2000. – 21 с.
10. Тишанинов, Н.П. Обеспечение качества триерной очистки зерна за счет авторегулирования режимов работы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, С.В. Емельянович // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 4(56). – С. 67–75.
11. Тишанинов, Н.П. Динамика процесса триерного разделения зерносмеси на различных режимах работы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов, С.В. Емельянович // Наука в Центральной России. – 2024. – Т. 69. – № 3. – С. 16–28.
12. Волошин, Ю.Н. Разработка триерной установки и исследование делимости зерновой смеси / Ю.Н. Волошин, Т.И. Ланина, В.К. Цагоев // Материалы 3 Международной научно-технической конференции «НТТ-2007». – Нальчик, 2007. – Т.1. – С. 131–135.

References

1. Zhirugov, R.T. Zernovoye khozyaystvo KBR / R.T. Zhirugov. – Nal'chik : Poligrafservis, 2001. – 198 s.
2. Chebotarev, O.N. Tekhnologiya muki, krupy i kombikormov / O.N. Chebotarev, A.YU. Shazzo, YA.F. Martynenko. – M. : IKTS Mart, Rostov – n / D : «Izdatel'skiy tsentr Mart», 2004. – 688 s.
3. Tekhnologicheskoye oborudovaniye i potochnyye linii predpriyatiy po pererabotke zerna / pod red. Glebova L.A. – M. : DeLi print, 2010. – 696 s.
4. Zlochevskiy, V.L. K obosnovaniyu sposoba fraktsionirovaniya zernovykh materialov / V.L. Zlochevskiy // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2016. – T. 40 – № 1. – S. 75–80.
7. Voloshin, YU.N. Analiz delimosti zernovoy smesi / YU.N. Voloshin, I.A. Nogerov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 3(153). – S. 71–75.
8. Yegorov, V.G. Triery, modernizatsiya ili klassika / V.G. Yegorov, A.V. Podzorov // Vestnik FGOU MGAU. – 2008. – № 1. – S. 44–47.
9. Vasil'yeva, O.P. Povysheniye effektivnosti razdeleniya zernovoy smesi putem optimizatsii parametrov i rezhimov raboty triyera s peremennoy uglovoy skorost'yu vrashcheniya tsilindra: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / O.P. Vasil'yeva. – Kirov, 2000. – 21 s.
10. Tishaninov, N.P. Obespecheniye kachestva triyernoy ochistki zerna za schet avtoregulirovaniya rezhimov raboty / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, S.V. Yemel'yanovich // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. – 2021. – № 4(56). – S. 67–75.
11. Tishaninov, N.P. Dinamika protsessa triyernogo razdeleniya zernosmesi na razlichnykh rezhimakh raboty / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov, S.V. Yemel'yanovich // Nauka v Tsentral'noy Rossii. – 2024. – T. 69. – № 3. – S. 16–28.
12. Voloshin, YU.N. Razrabotka triyernoy ustanovki i issledovaniye delimosti zernovoy smesi / YU.N. Voloshin, T.I. Lanina, V.K. Tsagoyev // Materialy 3 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «NTT-2007». – Nal'chik, 2007. – T.1. – S. 131–135.

© Ю.Н. Волошин, И.А. Ногеров, 2025

УДК 628.17, 628.31

Н.А. ЖИЛЬНИКОВА

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: водопользование; водопотребление; водохозяйственная система; производственные сточные воды; система водоотведения.

Аннотация. Целью предложенного комплексного подхода к улучшению системы водопользования производства являются водосбережение и минимизация техногенной нагрузки предприятий на водные объекты. Предложенная матрица устойчивого функционирования производственной водохозяйственной системы дает возможность оценивать и управлять различными аспектами водопользования (экономическими, экологическими, социальными и технологическими) с точки зрения устойчивого развития. Комплексный подход к разработке цифровой модели прогнозирования и управления системой водоотведения производства, учитывающий неопределенность данных и многокритериальность оптимизации, позволяет предприятиям повысить эффективность водопользования, сократить затраты, снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить устойчивость своего развития.

В соответствии с Водной стратегией Российской Федерации до 2036 г. (утверждена распоряжением Правительства РФ от 24 июня 2021 г. № 1 695-р) одним из ключевых направлений ее реализации является развитие систем водоснабжения и водоотведения производства путем внедрения наилучших доступных технологий, направленных на снижение водопотребления и минимизацию негативного воздействия сточных вод на водные объекты. Уменьшение потребления водных ресурсов и объемов сточных вод способствует сокращению затрат на водопользование. Внедрение

новых водосберегающих технологий, таких как мембранные методы очистки сточных вод, создание систем замкнутого водоснабжения и цифровых систем управления водными ресурсами, позволит повысить устойчивость и конкурентоспособность предприятий за счет повышения эффективности водопользования [1; 2]. Это комплексная задача требует разработки интегрированного подхода, включающего технологические, экономические и управленческие решения.

Комплексный подход к повышению эффективности водопользования в производственных водохозяйственных системах

С целью определения приоритетных направлений для улучшения работы системы водопользования предприятия предложена матрица устойчивого функционирования производственной водохозяйственной системы (ПВХС), позволяющей оценить и управлять различными аспектами водопользования производства с точки зрения устойчивого развития. Структура матрицы может варьироваться в зависимости от специфики производства, но в общем виде должна включать показатели, представленные в табл. 1.

Заполняя такую матрицу, предприятие может получить целостную картину своей водохозяйственной деятельности и разработать стратегию по ее улучшению с учетом принципов устойчивого развития. Важно регулярно обновлять и анализировать данные, чтобы отслеживать прогресс и корректировать действия по мере необходимости.

Новизна предложенного подхода заключается в комплексном подходе к оценке устойчивости производства, объединяющем эко-

Таблица 1. Пример структуры матрицы устойчивого функционирования ПВХС

Аспекты устойчивости	Показатель	Критерий оценки	Текущее значение	Планируемое значение	Водохозяйственные мероприятия
Экономическая устойчивость	Затраты на водоснабжение	Снижение затрат на ____%	руб.	руб.	Внедрение водосберегающего оборудования
	Экономия от внедрения водосберегающих технологий	Увеличение прибыли за счет экономии воды			
Экологическая устойчивость	Объем сброса сточных вод	Снижение объема сброса на ____%	м ³ /сут	м ³ /сут	Модернизация очистных сооружений
	Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах	Снижение загрязнения водных объектов			
Социальная устойчивость	Уровень осведомленности сотрудников	Увеличение уровня осведомленности до ____%	%	%	Проведение обучающих семинаров
	Участие в решении водных проблем региона	Вклад в устойчивое развитие региона			
Технологическая устойчивость (операционная эффективность)	Эффективность очистных сооружений	Повышение эффективности очистки сточных вод до ____%	%	%	Оптимизация режимов работы очистных сооружений
	Уровень автоматизации процессов водопользования	Внедрение наилучших доступных технологий			

номические, экологические, социальные и технологические аспекты водопользования, в отличие от традиционной оценки эффективности функционирования ПВХС, которая фокусируется в основном на экономических или экологических показателях. Матрица может быть интегрирована с другими системами управления, такими как системы экологического менеджмента или системы корпоративной социальной ответственности, что обеспечивает комплексный и системный подход к устойчивому развитию предприятия.

В соответствии с национальным проектом «Экономика данных» и Водной стратегией РФ до 2036 г. для эффективного регулирования внедрения передовых решений в водохозяйственной отрасли необходима ее цифровая трансформация.

Цифровая трансформация систем водоснабжения и водоотведения производства будет способствовать своевременному принятию

управленческих решений для обеспечения эффективного управления ПВХС. Однако разработка адаптивной, точной и надежной модели, способной эффективно учитывать динамические и многофакторные процессы, характерные для водохозяйственных систем производства, является достаточно сложной задачей. В первую очередь это связано с тем, что качество и количество сточных вод зависят от множества переменных, включая режимы работы предприятия, технологические процессы, состав сырья, метеорологические условия и др. Кроме того, зачастую данные о составе и количестве сточных вод, параметрах работы очистных сооружений и других факторах являются неполными, неточными или недоступными в режиме реального времени, что затрудняет калибровку и валидацию модели, а также снижает точность прогнозирования [4].

Управление сточными водами требует одновременного учета экономических (минимиза-



Рис. 1. Структура процесса создания цифровой модели прогнозирования и управления системой водоотведения производства

ция затрат на очистку), экологических (минимизация загрязнения) и социальных (обеспечение доступа к водным ресурсам) критериев.

Для эффективного использования модели необходимо обеспечить ее интеграцию с существующими системами управления производством и очистными сооружениями, что требует разработки специальных интерфейсов и протоколов обмена данными.

Производственные процессы и внешние условия постоянно меняются. Модель должна быть способна адаптироваться к этим изменениям и сохранять свою точность и эффективность в течение длительного времени, что может быть достигнуто с помощью методов машинного обучения.

Для принятия обоснованных управленческих решений необходимо понимать, как работает модель и какие факторы влияют на ее результаты. Поэтому важно разрабатывать модели, обладающие достаточной степенью интерпретируемости [3].

Таким образом, для создания адаптивной, точной и надежной цифровой модели (ЦМ) необходима разработка научно-практических инструментов, позволяющих учитывать неопределенность данных и многокритериальность оптимизации.

В работе предложен комплексный подход к созданию цифровой модели прогнозирования

и управления системой водоотведения производства с учетом ключевых аспектов, которые необходимо рассматривать при создании ЦМ (рис. 1).

В зависимости от сложности системы и доступных данных, можно использовать различные типы моделей:

- статистические модели: подходят для относительно простых систем, основаны на корреляционном анализе исторических данных;
- модели машинного обучения: могут обрабатывать большие объемы данных и выявлять сложные зависимости (нейронные сети, метод опорных векторов и др.);
- гидравлические и гидрохимические модели: более сложные модели, учитывающие физические и химические процессы в системе водоотведения производства.

Разработанная цифровая модель должна прогнозировать объем и качество сточных вод на основе производственных планов и других характеристик, а также предлагать оптимальные режимы работы очистных сооружений для достижения требуемого качества очистки при минимальных затратах. Должна быть предусмотрена возможность моделировать различные сценарии работы предприятия и их влияние на объем и качество сточных вод.

Существуют специализированные про-

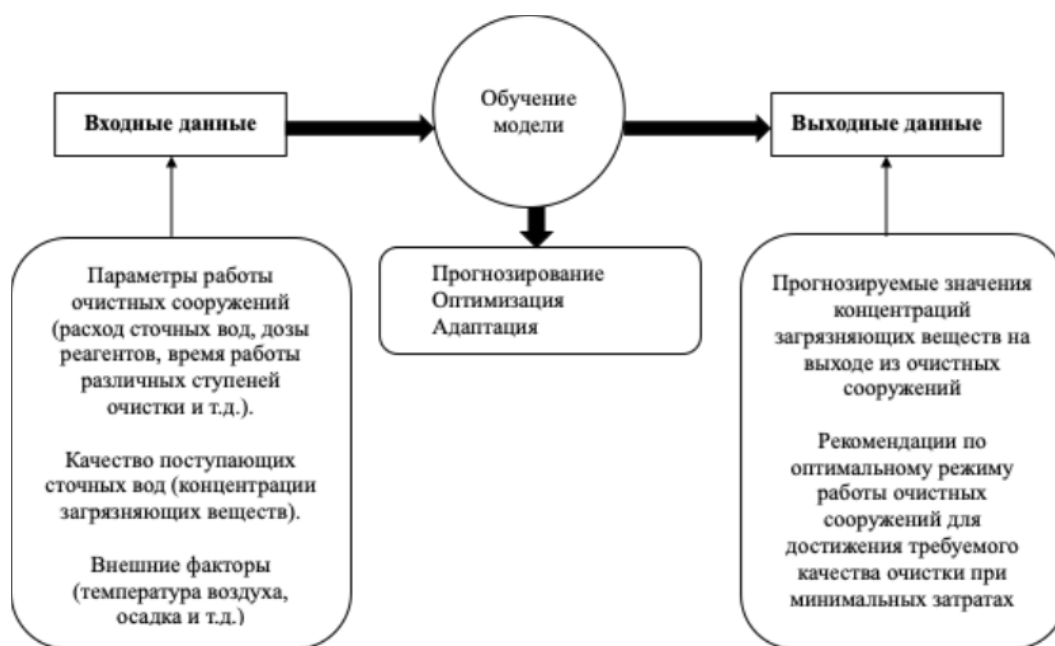


Рис. 2. Применение модели машинного обучения для прогнозирования качества очищенных сточных вод и оптимизации режимов работы очистных сооружений

граммные пакеты моделирования водохозяйственных систем (как отечественные, так и зарубежные): например, программа «Гидросистема», предназначенная для расчета и проектирования трубопроводов, включая системы водоотведения, или программный комплекс *InfoWorks ICM* для моделирования гидравлических процессов и качества воды в системах водоснабжения и водоотведения.

Для хранения и обработки данных необходима система управления базами данных. Для сбора данных в режиме реального времени можно использовать системы диспетчерского управления и сбора данных, например *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*.

Для удобства использования модели необходимо разработать удобный интерфейс с графическим представлением данных и результатов моделирования.

Пример применения моделей машинного обучения в цифровой модели прогнозирования и управления системой водоотведения производства

Для прогнозирования качества очищенных сточных вод и оптимизации режимов работы очистных сооружений целесообразно применение

рекуррентной нейронной сети (*RNN*), которая позволяет работать с временными рядами. Пример применения модели машинного обучения в цифровых материалах (*ЦМ*) представлен на рис. 2. Модель прогнозирует качество очищенных сточных вод на основе текущих параметров работы очистных сооружений и качества поступающих сточных вод. На основе прогноза качества очищенных сточных вод модель может рекомендовать оптимальные режимы работы очистных сооружений для достижения требуемого качества очистки при минимальных затратах. Для этого можно использовать алгоритмы оптимизации, такие как метод градиентного спуска или генетический алгоритм. Модель может постоянно обучаться и адаптироваться к изменению условий.

Применение моделей машинного обучения способно выявлять комплексные взаимосвязи между параметрами работы очистных сооружений и качеством сточных вод, что позволяет делать более точные прогнозы по сравнению с традиционными методами [5].

Заключение

В данной работе предложен комплексный подход к повышению эффективности водопользования в производственных водохозяйствен-

ных системах. Использование матрицы устойчивого функционирования ПВХС позволяет предприятиям получить целостную картину своей водохозяйственной деятельности и разработать стратегию по ее улучшению с учетом принципов устойчивого развития. Создание адаптивной, точной и надежной цифровой модели прогнозирования и управления системой

водоотведения производства дает возможность предприятиям оптимизировать режимы работы очистных сооружений, минимизировать затраты и негативное воздействие на окружающую среду. Применение данных подходов способствует повышению конкурентоспособности и устойчивости предприятий за счет эффективного управления водными ресурсами.

Список литературы

1. Жильникова, Н.А. Концепция повышения экологичности производственных систем в рамках территориальных природно-производственных комплексов / Н.А. Жильникова // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 11(101). – С. 32–35.
2. Ковшун, Н.Э. Система устойчивого водопользования как составляющая национальной экономики / Н.Э. Ковшун // Проблемы и перспективы экономики и управления. – 2017. – № 3(11). – С. 61–68.
3. Федоров, М.П. Прикладные модели устойчивости природно-технических систем в водном хозяйстве / М.П. Федоров, В.В. Яковлев // Безопасность жизнедеятельности. – 2016. – № 7(187). – С. 23–29.
4. Кириллова, А.Н. Механизмы перехода на интенсивные факторы ускорения модернизации коммунальной инфраструктуры / А.Н. Кириллова, Н.Н. Мусинова // Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 4(153). – С. 1163–1167.
5. Алиев, А. Вопросы применения методов машинного обучения в прогнозировании формирования перспективных отраслей экономики нового поколения / А. Алиев, Р. Шахвердиева // Искусственные общества. – 2024. – Т. 19.

References

1. Zhil'nikova, N.A. Kontseptsiya povysheniya ekologichnosti proizvodstvennykh sistem v ramkakh territorial'nykh prirodno-proizvodstvennykh kompleksov / N.A. Zhil'nikova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2019. – № 11(101). – S. 32–35.
2. Kovshun, N.E. Sistema ustoychivogo vodopol'zovaniya kak sostavlyayushchaya natsional'noy ekonomiki / N.E. Kovshun // Problemy i perspektivy ekonomiki i upravleniya. – 2017. – № 3(11). – S. 61–68.
3. Fedorov, M.P. Prikladnyye modeli ustoychivosti prirodno-tekhnicheskikh sistem v vodnom khozyaystve / M.P. Fedorov, V.V. Yakovlev // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. – 2016. – № 7(187). – S. 23–29.
4. Kirillova, A.N. Mekhanizmy perekhoda na intensivnyye faktory uskoreniya modernizatsii kommunal'noy infrastruktury / A.N. Kirillova, N.N. Musinova // Ekonomika i predprinimatel'stvo. – 2023. – № 4(153). – S. 1163–1167.
5. Aliyev, A. Voprosy primeneniya metodov mashinnogo obucheniya v prognozirovanii formirovaniya perspektivnykh otrasley ekonomiki novogo pokoleniya / A. Aliyev, R. Shakhverdiyeva // Iskustvennyye obshchestva. – 2024. – T. 19.

© Н.А. Жильникова, 2025

УДК 334.021

М.Ю. КОЗЬМИНЫХ, М.С. ОСТАПЕНКО

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ключевые слова: высокотехнологичные предприятия; индикаторы риска нарушения обязательных требований; риск-ориентированный подход; стандарт; техногенная безопасность; экологическая безопасность; экономическая безопасность.

Аннотация. Цель исследования – проанализировать проблемы стандартизации применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий и выявить пути их решения.

Задачи исследования следующие: проанализировать современный опыт применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий; проанализировать действующие национальные и международные стандарты в сфере применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий.

Гипотеза исследования состоит в предположении о том, что комплексные стандарты применения риск-ориентированного подхода должны предусматривать оценку рисков различных категорий по единой системе, позволяющей обеспечить количественную и качественную оценку рисков.

В исследовании представлена характеристика проблемы применения риск-ориентированного подхода в процессе обеспечения безопасности высокотехнологичных предприятий. Представлен обзор теоретических исследований по проблеме применения риск-ориентированного подхода в обеспечении безопасности высокотехнологичных предприятий. Проанализированы возможности применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологич-

ных предприятий. Исследование описывает существующие стандарты применения риск-ориентированного подхода, содержит рекомендации по решению проблем стандартизации применения риск-ориентированного подхода в обеспечении безопасности высокотехнологичных предприятий.

Методы исследования включают анализ теоретических исследований, индуктивный метод, анализ существующих стандартов в сфере применения риск-ориентированного подхода.

В исследовании предложены основные характеристики риска, процесса его оценки, которые могут быть представлены в комплексном стандарте применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий.

Развитие современных крупных экономик немислимо без высокотехнологичных предприятий, которые обеспечивают функционирование наиболее значимых для обеспечения национальной безопасности и экономического развития отраслей.

Согласно п. 26 Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, обеспечение экологической безопасности, развитие экономики на новой технологической основе, обеспечение общественной, информационной безопасности входят в число национальных стратегических приоритетов Российской Федерации, через которые реализуются, в свою очередь, национальные интересы Российской Федерации [17].

Реализация соответствующих направлений стратегического развития страны невозможна без обеспечения эффективного функциониро-

вания российских наукоемких отраслей и соответствующих промышленных предприятий, которые имеют большое значение для развития экономики, обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации.

При этом нельзя не отметить и то, что многие современные высокотехнологичные производства характеризуются значительным износом основных фондов и оборудования, что обуславливает необходимость организации мониторинга техногенной безопасности таких предприятий, а также экологической безопасности ввиду того, что износ оборудования может способствовать повышению риска аварийных и иных нештатных ситуаций, сопровождающихся негативным воздействием на окружающую среду. Также нельзя не принять во внимание и необходимость постоянного мониторинга экономической безопасности ввиду того, что модернизация оборудования, повышение технической оснащенности предприятия, внеплановая замена оборудования, ликвидация последствий нештатных и аварийных ситуаций, возникших на предприятии, требует существенных экономических затрат.

В свою очередь, управление рисками на предприятиях, их прогнозирование на современном этапе не снабжены достаточным методологическим аппаратом, который позволил бы обеспечить эффективное своевременное выявление рисков, а также их минимизацию. Это относится практически к любым типам рисков – как к техногенным, так и к экологическим, экономическим, правовым. Возникшая ситуация связана с тем, что традиционная система управления безопасностью высокотехнологичных предприятий в России сложилась в условиях плановой экономики в СССР. Данная система предусматривала, во-первых, значительные кадровые затраты (в мониторинге безопасности предприятий в СССР было задействовано большое число сотрудников), а также и экономические (содержание таких сотрудников, постоянные замеры различных параметров деятельности, оценка индикаторов безопасности предприятий требовали финансовых затрат). В современных условиях, во-первых, отмечается высокий (в сравнении с СССР) уровень автоматизации и цифровизации в управлении предприятиями, во-вторых, отмечается недостаток кадровых резервов, экономических ресурсов [11]. Оба условия требуют

принципиально новых подходов к организации управления безопасностью высокотехнологичных предприятий, одним из которых является риск-ориентированный подход, при котором оценочные, контрольные мероприятия проводятся с учетом вероятности наступления предполагаемых нежелательных последствий и их тяжести. Внедрение риск-ориентированного подхода в управление безопасностью высокотехнологичных предприятий позволяет существенно снизить затраты за счет исключения неэффективных контрольных и оценочных мер, а также повысить общую информационную базу контроля и мониторинга безопасности высокотехнологичных предприятий

Вместе с тем внедрение риск-ориентированного подхода к оценке безопасности высокотехнологичных предприятий в России сталкивается сегодня с рядом трудностей, основной из которых является отсутствие единого стандарта оценки рисков при большом числе разнообразных методов оценки рисков различных типов и в разных отраслях промышленности. По мнению Ю.В. Патокиной, многие предприятия внедряют риск-ориентированный подход в управление безопасностью, однако большинство разработок такого рода носит узко-направленный характер, что не позволяет распространять опыт применения риск-ориентированного подхода на другие отрасли, а нередко – на предприятия той же отрасли [15].

Многими авторами при освещении проблемы внедрения на предприятиях риск-ориентированного подхода отмечается, во-первых, необходимость оценки различных групп рисков во взаимосвязи [1], оценки совокупных последствий для предприятия при наступлении рисков событий, например, экономических последствий, которые могут наступить при реализации техногенных рисков, помимо собственно техногенных последствий [9]. Однако существующие методы и подходы к оценке рисков не позволяют осуществлять соответствующий комплексный анализ и мониторинг рисков различных групп и потенциальных совокупных последствий, наступающих при их реализации.

Решением данной проблемы является стандартизация в сфере применения риск-ориентированного подхода.

Современные исследования содержат отдельные разработки в сфере применения риск-

ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий. Можно отметить разработки методик оценки рисков производственного травматизма [3], рисков инвестиционных проектов [2], рисков природных и техногенных чрезвычайных ситуаций [14], методик ранжирования предприятий по степени риска [10].

В действующих стандартах оценки рисков отсутствует единообразное понятие риска. ГОСТ Р 51897-2011 (Руководство ИСО 73:2009) под риском понимается последствие проявления факторов неопределенности [4]. ГОСТ Р 58771-2019 «Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Технологии оценки риска» не содержит понятие риска, но в разделе 4.2 в качестве элемента риска называются последствия неопределенности [5]. В *ISO Guide 73:2009* под риском понимается «комбинация вероятности возникновения события и его последствий» [6]. В ГОСТ Р 51897-2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент Риска. Термины и определения» (принят взамен ГОСТ Р 51897-2011), риск – это также «влияние неопределенности на достижение поставленных целей» [7]. Дополнительно в ГОСТ Р 51897-2021 определяется и понятие «неопределенность» как отклонение от ожидаемого результата. В Руководстве к своду знаний по управлению проектами риск – это неопределенное условие, которое может повлиять на реализацию проекта, достижение его целей [16].

Из изложенного следует, что понятие риска включает описание возможных последствий наступления нежелательного события, а также вероятность наступления этого события. В связи с этим можно предложить следующее авторское определение риска: «риск – событие или условие, наступление которого влияет на достижение целей деятельности, имеющее определяемую вероятность наступления и потенциально возможные негативные последствия, для которых определяются качественные характеристики (их вид, процесс или объект, для которого они наступают) и величина потенциального вреда от их воздействия».

В ГОСТ Р 56715.5-2015 «Проектный менеджмент. Системы проектного менеджмента» управление рисками – это процесс их идентификации (выявления) и анализа [8]. При этом понятие анализа рисков в соответствующем до-

кументе не раскрыто.

Таким образом, на современном этапе, несмотря на наличие различных стандартов в сфере оценки рисков, в том числе в различных областях, отсутствует комплексный стандарт оценки рисков, применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий.

Один из комплексных стандартов – Стандарт «Индикаторы риска нарушения обязательных требований. Порядок применения для оценки техногенной, экологической, экономической безопасности предприятий» описан в исследовании М.Ю. Козьминых [12]. Возможность применения данного стандарта в ходе управления безопасностью высокотехнологичных предприятий доказана в исследовании М.Ю. Козьминых, Ю.С. Клочкова [13].

С учетом существующих подходов к стандартизации управления рисками можно заключить, что анализ рисков в комплексном стандарте при его разработке будет включать:

- описание самого рискового события, его качественную характеристику;
- описание и обоснование вероятности наступления нежелательного события (реализации риска), описание тех условий, при которых нежелательное событие наступит;
- описание последствий нежелательного события;
- способ количественной оценки риска (комбинация численного выражения вероятности и тяжести последствий наступления конкретного нежелательного события).

Перечисленные элементы описания рисков в комплексном стандарте применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий позволят унифицировать общие способы выявления риска, их анализа, определения вероятности наступления и последствий.

Таким образом, выявлена проблема стандартизации применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий, предложены общие основы разработки соответствующего стандарта. По результатам исследования предложено авторское определение риска, проанализирован подход к пониманию риска в существующих стандартах оценки риска. Вы-

явлены основные характеристики риска, процесса его оценки, которые могут быть представлены в комплексном стандарте применения риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью высокотехнологичных предприятий.

Список литературы

1. Биккулова, Ю.М. Формирование системы индикаторов для оценки состояния экологической составляющей экономической безопасности предприятия / Ю.М. Биккулова // E-Scio. – 2019. – № 4(31). – С. 278–285.
2. Богомолова, Е.А. Организация риск-менеджмента при реализации инвестиционно-инновационных проектов / Е.А. Богомолова, Н.В. Возгомет // Вестник ГУУ. – 2019. – № 3. – С. 127–136.
3. Бухтияров, И.В. Обоснование платформы стандартов на основе оценки риска нарушения здоровья работников предприятий ведущих отраслей экономики / И.В. Бухтияров, Л.П. Кузьмина, Н.П. Головова, А.Г. Чеботарев, Л.М. Лескина, Н.А. Хелковский-Сергеев, Н.И. Котова // Мед. труда и пром. экол. – 2021. – № 3. – С. 155–160.
4. ГОСТ Р 51897-2011. Руководство ИСО 73:2009. Менеджмент риска. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2012. – 16 с.
5. ГОСТ Р 58771-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Технологии оценки риска (Risk management. Risk assessment technologies). ОКС 03.100.01, утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17.12.2019 № 1405-ст // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200170253>.
6. ISO Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary. Withdrawn (Edition 1, 2009) // Официальный сайт ISO [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.iso.org/standard/44651.html>.
7. ГОСТ Р 51897-2021 (ISO Guide 73:2009). «Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент Риска. Термины и определения. (Risk management. Terms and definitions)» ОКС 03.100.01, утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.11.2021 № 1489-ст // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200181662>.
8. ГОСТ Р 56715.5-2015. Проектный менеджмент. Системы проектного менеджмента. Часть 5. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2017. – 16 с.
9. Илякова, И.Е. Оценка экологических последствий хозяйственной деятельности промышленного предприятия в контексте концепции экономической безопасности / И.Е. Илякова // Контекстус. – 2019. – № 9(86). – С. 89–98.
10. Иванова, У.С. Ранжирование территорий Красноярского края с использованием риск-ориентированного подхода / У.С. Иванова, В.В. Москвичев, О.В. Тасейко // Проблемы анализа риска. – 2019. – №4. – С. 48–63.
11. Кондрашова, Н.Г. Управление рисками экономической безопасности на уровне предприятия / Н.Г. Кондрашова, Т.Д. Галуза // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2022. – № 12-1. – С. 169–172.
12. Козьминых, М.Ю. Стандартизация надзорной деятельности на основе риск-ориентированного подхода в отношении высокотехнологичных предприятий / М.Ю. Козьминых // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024 – Т. 26. – № 4. – С. 5–25.
13. Kozminykh, M.Yu. Supervision and safety quality improvement of high-tech enterprises by a risk-based approach / M.Yu. Kozminykh, Y.S. Klochkov // International journal for Quality Research – V. 20. – № 1.
14. Ничепорчук, В.В. Комплексный анализ факторов территориальных рисков для оценивания и управления природно-техногенной безопасностью / В.В. Ничепорчук, Т.Г. Пенькова // Проблемы анализа риска. – 2019. – № 4. – С. 64–74.
15. Патокина, Ю.В. Методы оценки рисков в области техносферной безопасности / Ю.В. Па-

токина // Мировая наука. – 2023. – № 2(71). – С. 123–126.

16. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). – 6-е изд. – Project Management Institute, Inc, 2017. – 792 с.

17. Указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271.

References

1. Bikkulova, YU.M. Formirovaniye sistemy indikatorov dlya otsenki sostoyaniya ekologicheskoy sostavlyayushchey ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiya / YU.M. Bikulova // E-Scio. – 2019. – № 4(31). – S. 278–285.

2. Bogomolova, Ye.A. Organizatsiya risk-menedzhmenta pri realizatsii investitsionno-innovatsionnykh proyektov / Ye.A. Bogomolova, N.V. Vozgomet // Vestnik GUU. – 2019. – № 3. – S. 127–136.

3. Bukhtiyarov, I.V. Obosnovaniye platformy standartov na osnove otsenki riska narusheniya zdorov'ya rabotnikov predpriyatiy vedushchikh otrasley ekonomiki / I.V. Bukhtiyarov, L.P. Kuz'mina, N.P. Golovkova, A.G. Chebotarev, L.M. Leskina, N.A. Khelkovskiy-Sergeyev, N.I. Kotova // Med. truda i prom. ecol. – 2021. – № 3. – S. 155–160.

4. GOST R 51897-2011. Rukovodstvo ISO 73:2009. Menedzhment riska. Terminy i opredeleniya. – M. : Standartinform, 2012. – 16 s.

5. GOST R 58771-2019. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Menedzhment riska. Tekhnologii otsenki riska (Risk management. Risk assessment technologies). OKS 03.100.01, utverzhden i vveden v deystviye prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 17.12.2019 № 1405-st // Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200170253>.

6. ISO Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary. Withdrawn (Edition 1, 2009) // Ofitsial'nyy sayt ISO [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.iso.org/standard/44651.html>.

7. GOST R 51897-2021 (ISO Guide 73:2009). «Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Menedzhment Riska. Terminy i opredeleniya. (Risk management. Terms and definitions)» OKS 03.100.01, utverzhden i vveden v deystviye prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 11.11.2021 № 1489-st // Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200181662>.

8. GOST R 56715.5-2015. Proyektnyy menedzhment. Sistemy proyektного menedzhmenta. Chast' 5. Terminy i opredeleniya. – M. : Standartinform, 2017. – 16 s.

9. Ilyakova, I.Ye. Otsenka ekologicheskikh posledstviy khozyaystvennoy deyatel'nosti promyshlennogo predpriyatiya v kontekste kontseptsii ekonomicheskoy bezopasnosti / I.Ye. Ilyakova // Kontentus. – 2019. – № 9(86). – S. 89–98.

10. Ivanova, U.S. Ranzhirovaniye territoriy Krasnoyarskogo kraya s ispol'zovaniyem risk-oriyentirovannogo podkhoda / U.S. Ivanova, V.V. Moskvichev, O.V. Taseyko // Problemy analiza riska. – 2019. – №4. – S. 48–63.

11. Kondrashova, N.G. Upravleniye riskami ekonomicheskoy bezopasnosti na urovne predpriyatiya / N.G. Kondrashova, T.D. Galuza // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. – 2022. – № 12-1. – S. 169–172.

12. Koz'minykh, M.YU. Standartizatsiya nadzornoy deyatel'nosti na osnove risk-oriyentirovannogo podkhoda v otnoshenii vysokotekhnologichnykh predpriyatiy / M.YU. Koz'minykh // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. – 2024 – T. 26. – № 4. – S. 5–25.

13. Kozminykh, M.Yu. Supervision and safety quality improvement of high-tech enterprises by a risk-based approach / M.Yu. Kozminykh, Y.S. Klochkov // International journal for Quality Research – V. 20. – № 1.

14. Nicheporchuk, V.V. Kompleksnyy analiz faktorov territorial'nykh riskov dlya otsenivaniya i

upravleniya prirodno-tekhnogennoy bezopasnost'yu / V.V. Nicheporchuk, T.G. Pen'kova // Problemy analiza riska. – 2019. – № 4. – S. 64–74.

15. Patokina, YU.V. Metody otsenki riskov v oblasti tekhnosfernoy bezopasnosti / YU.V. Patokina // Mirovaya nauka. – 2023. – № 2(71). – S. 123–126.

16. Rukovodstvo k Svodu znaniy po upravleniyu proyektami (Rukovodstvo PMBOK). – 6-ye izd. – Project Management Institute, Inc, 2017. – 792 s.

17. Ukaz Prezidenta RF ot 02.07.2021 № 400 «O Strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii» [Electronic resource]. – Access mode : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271.

© М.Ю. Козьминых, М.С. Остапенко, 2025

УДК 65.011.56

И.Н. КРИОНИ, М.В. БОЛСУНОВСКАЯ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет

Петра Великого», г. Санкт-Петербург

ОБЗОР МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ

Ключевые слова: автоматизация проектирования; автоматизация расчетов; комплексная автоматизация; программные комплексы; сквозное проектирование; цифровая трансформация; BIM.

Аннотация. Строительная отрасль в последнее время сталкивается с большим количеством вызовов, связанных с активной цифровизацией. Увеличивающийся объем строительства, растущие требования к скорости и качеству разработки проектов капитального строительства приводят к высокому спросу у девелоперских компаний средств автоматизации процесса проектирования. Цель данного исследования – систематизация и анализ современных методов автоматизации проектирования жилых многоквартирных зданий для выявления ключевых тенденций, преимуществ и ограничений применяемых технологий. Для достижения поставленной цели необходимо классифицировать методы автоматизации по направлению, сформулировать основные направления научных исследований по каждой группе и проанализировать интеграционные возможности внедрения в процессы проектирования. В рамках исследования был проведен анализ научных публикаций и практических кейсов за последние десять лет. Результатом исследования являются выявленные доминирующие направления автоматизации строительного проектирования с анализом преимуществ и недостатков существующих методов, а также ключевые проблемы и тенденции будущих исследований.

Введение

Развитие экономики приводит к необхо-

димости сокращения сроков выполнения и реализации проектов, а также повышения производительности труда и капитала. Наиболее эффективно решать данные проблемы можно путем автоматизации бизнес-процессов с помощью цифровых технологий.

Внедрение цифровых технологий в строительстве играет особую важную роль на этапе разработки проекта. Качество выполненного проекта оказывает влияние на все последующие этапы жизненного цикла здания. Отсюда следуют жесткие требования к средствам автоматизации и высокие темпы развития в области разработки цифровых средств.

Цифровые средства в строительной области неразрывно связаны с BIM-технологиями (англ. *Building Information Model* – информационная модель здания или информационное моделирование зданий, если речь идет о процессе или технологии). Использование BIM в проектировании приводит к сокращению сроков реализации проектов до 30 % и снижению количества коллизий до 100 %. Также показано, что сокращаются сроки разработки комплектов рабочих и проектной документации. Цифровизация строительной области – одна из глобальных тенденций последних лет, которая актуальна и для России.

В рамках данного исследования рассматривались подходы к автоматизации процессов строительного проектирования (как отдельных его частей, так и комплексно).

Цель данной статьи – сделать обзор актуальных подходов к автоматизации проектирования. Исходя из цели, поставлены следующие задачи:

- провести анализ исследований в области разработок программных средств для автоматизации проектирования жилых зданий за последние десять лет;

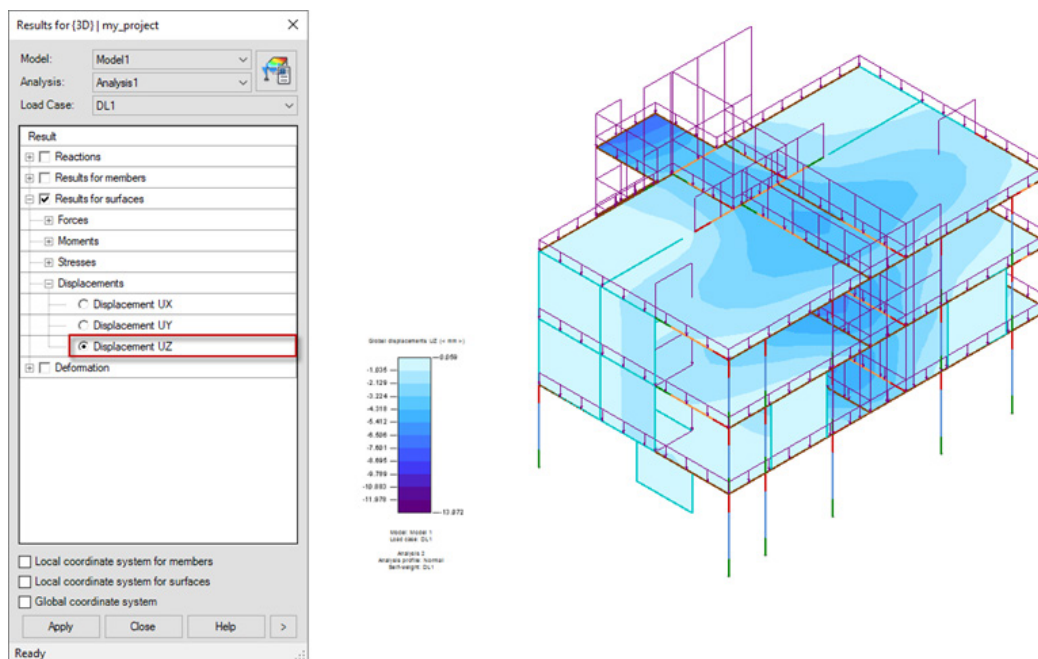


Рис. 1. Автоматизация расчета статических нагрузок с помощью встроенных инструментов Autodesk Revit

- выделить основные тренды, выявить преимущества и недостатки подходов;
- систематизировать полученную информацию, сделать вывод о результатах и дальнейших перспективах области.

Основная часть

Постоянное развитие цифровых технологий приводит к появлению большого количества исследований, касающихся автоматизации процесса строительного проектирования. Сама концепция *BIM* предполагает автоматизацию рутинных работ, упрощения процесса создания комплектов рабочей и проектной документации. В рамках исследования процесс проектирования будет рассматриваться как часть *BIM*-моделирования.

Методы автоматизации проектирования жилых зданий можно условно разделить на несколько групп:

- автоматизация расчетов (например, строительных конструкций);
- частичная автоматизация процесса проектирования;
- комплексная автоматизация процесса проектирования.

На сегодняшний день уже существует достаточно большое количество программных

решений для автоматизации расчетов строительных конструкций. Инженеры-проектировщики в основном используют их для выполнения прочностных или теплотехнических расчетов. Программные комплексы такого типа позволяют решать большой перечень задач, например, определять оптимальные конструкции несущих стен или перекрытий, расчет объемов или оценку стоимости, что позволяет автоматизировать большое количество рутинных работ. Кроме этого, интеграция таких систем с другими комплексами способствует улучшению координации проектов. В качестве примера таких комплексов можно выделить как зарубежные решения (*SOFiSTiK*, *SAP2000*), так и отечественные (*ЛИРА-САПР*, *SCAD Office*). Кроме того, некоторые *BIM*-комплексы, вроде *Autodesk Revit*, содержат внутри себя отдельные модули для автоматизации расчетов.

Описанные программные комплексы покрывают достаточно большой пласт стандартных задач. Для решения сложных, узконаправленных задач предлагается применять несвязанные напрямую со строительной областью сторонние продукты, такие как *ANSYS* или *Mathcad*.

Исследования в области автоматизации расчетов обычно ограничены областью применения конкретного *BIM*-комплекса. Чаще всего

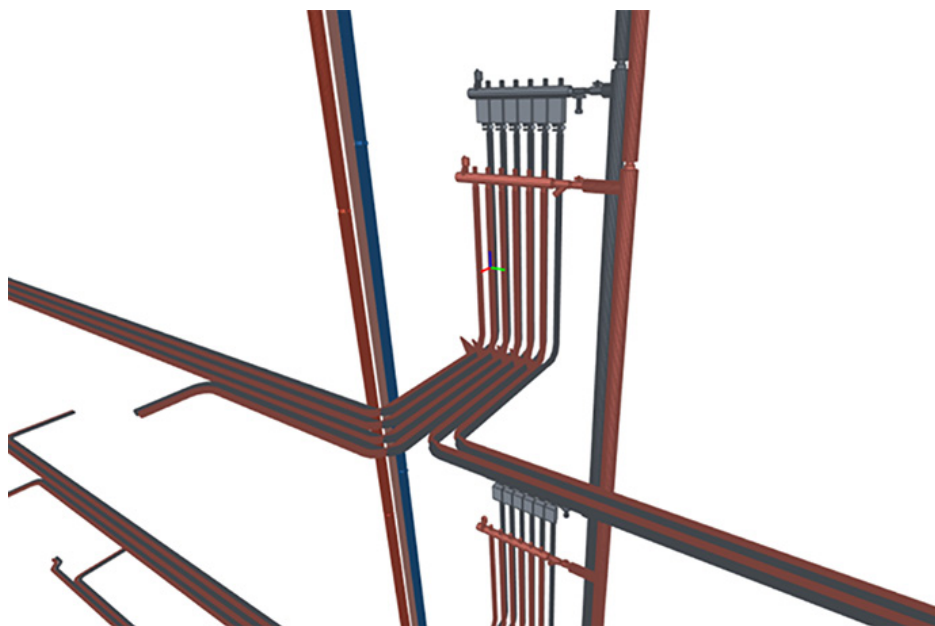


Рис. 2. Фрагмент участка сетей отопления, спроектированных в автоматизированном режиме

методы автоматизации предполагают собой разработку одной или нескольких надстроек для системы автоматизированного проектирования, например, для расчета строительных нагрузок при оптимизации проектирования в *Autodesk Revit* или *Grasshopper*.

Говоря о преимуществе использования различных методов автоматизации расчетов строительных конструкций, стоит отметить, что они сокращают время расчетов (в среднем, как показывают исследования, в 2–5 раз) и точность путем исключения участия человека в процессе вычислений. Явным плюсом также является совместимость большинства инструментов с различными *BIM*-комплексами и потенциальная возможность интеграции с методами генеративного проектирования.

В большинстве вышеуказанных отмечается, что для корректного и эффективного применения инструмента автоматизации часто требуется доработка под конкретный проект. Этот факт говорит о необходимости участия специалистов с навыками программирования и строительной механики в процессе встраивания инструмента в цепочку проектирования, что неизбежно влияет на стоимость разработки проекта. Кроме того, как уже отмечалось, многие решения ограничены конкретным программным пакетом и плохо совместимы с другими системами.

Другая большая группа исследований касается автоматизации отдельных подпро-

цессов проектирования. Использование *BIM*-технологий позволяет автоматизировать процессы, основываясь на данных из цифровых моделей. Большой пласт исследований в этой области посвящен разработке алгоритмов проектирования при формировании *BIM*-моделей в различных разделах проектирования. Большинство алгоритмов заточено под функционал конкретных программных пакетов. Например, ряд исследований в отечественной литературе использует функционал *Autodesk Revit* или *Grasshopper*: при автоматизации процесса проектирования несущих конструкций многоэтажного здания, процессов армирования или при автоматизации процессов проектирования частей инженерных систем.

В зарубежной литературе тоже представлено большое количество похожих по направлению исследований, которые включают применение функционала различных программных комплексов. Например, при автоматизации трассировки дренажных систем, системы вентиляции, армирования строительных конструкций или для создания поэтажных планировок.

Вышеописанные исследования вносят большой вклад в развитие методологии строительного проектирования и касаются большого спектра решаемых в проектировании задач. Стоит отметить, что в работе методики используют не только детерминированные алгоритмы, но и различные типы искусственного

интеллекта.

Под комплексной автоматизацией строительного проектирования будем понимать системный подход к организации сквозного проектирования зданий и сооружений, основанный на:

- интеграции всех этапов проектирования (от концепции до рабочей документации) в единую информационную среду;
- применении алгоритмических, *AI*- и *ML*-методов для автоматизации рутинных и оптимизационных задач;
- стандартизации и параметризации проектных решений для массового применения.

Ключевыми признаками такой автоматизации будем считать сквозную автоматизацию (*end-to-end process automation*) и минимизацию ручного вмешательства за счет алгоритмической генерации проектных решений.

Третья группа, в которую объединены исследования о комплексной автоматизации процесса проектирования, представляет собой сложную и достаточно малоизученную область. В научной литературе не существует фундаментальных исследований, касающихся стандартизации проектных решений и алгоритмизации задач в сквозной автоматизации. Это объяснимо наличием большого числа различных программных комплексов, которые широко используются в современном проектировании. Форматы представления данных, которые используются в комплексах, обычно несовместимы между собой. Данный факт затрудняет не только взаимодействие между проектировщиками, но и стандартизацию процесса сквозного автоматизированного проектирования.

Отчеты по мировым рынкам показывают стабильно растущий спрос на готовые САПР-решения, что говорит о консервативности отрасли.

Уход с российского рынка большого количества вендоров в 2022 г. спровоцировал интерес к замещению решений в том числе и в области цифрового автоматизированного проектирования. Отечественные девелоперы, заинтересованные в увеличении объемов и темпов разработки проектов, формируют определенный тренд на создание решений в области автоматизированного проектирования типовых жилых объектов.

Например, один из продуктов компании «ПИК», Робот-проектировщик *R2*, позволяет анализировать информацию об участке строи-

тельства и строить цифровую копию объекта. Платформа также обладает возможностью генерации функционального зонирования, массинга и колористики фасадов, а также расчета инсоляции, основываясь на принятые в компании проектные решения по типовым секциям и башням (одноподъездным секциям).

Одно из многообещающих решений – разработка НТЦ «Платформа», Робот-проектировщик. По заявлениям, роботизированное решение позволяет формировать на основе входных параметров в автоматизированном режиме *BIM*-модель, комплекты рабочей документации (*РД*) и проектной документации (*ПД*) с минимальным участием человека, однако функциональность ограничена только одноподъездной секцией и типовыми этажами.

Кроме этого, существует решение по автоматизированному моделированию объемно-планировочных и конструктивных решений – *PromCore*. Программа позволяет автоматически генерировать *BIM*-модели конструктивных решений, используя в своей основе такие технологии, как *FEMNet*, *SmartPylon* (для расстановки пилонов на архитектурном плане) и *CSM* (для расчета нагрузок).

На текущий момент для приведенных примеров не опубликовано ни соответствующих научных работ с описанием методов и апробации разработанных подходов, ни отчетов о целевом использовании с описанием результатов. Таким образом, невозможно что-либо утверждать об их реальном вкладе в виде фундаментальных или прикладных исследований.

Важным шагом к созданию подобного рода решений для девелопера являются стандартизация и структуризация процессов и сквозных данных проектирования. Одни и те же элементы могут быть спроектированы в различных системах разным способом. Таким образом, в одной и той же модели, разработанной разными проектировщиками, будет разный набор элементов с различными параметрами.

Стандартизацией своих процессов занимается, например, компания «Брусника», которая начала в 2021 г. разрабатывать модули валидации моделей и формировать *BIM*-требования в виде базы знаний.

Заключение

В рамках исследования был проведен литературный обзор научных статей, диссертаций

и патентов за последние десять лет в области разработок программных средств для автоматизации проектирования жилых зданий. Были выявлены основные тренды среди методов автоматизации: автоматизация расчетов, частичная и комплексная автоматизация.

Основная цель любой автоматизации – сокращение сроков и себестоимости проектирования и повышения качества проектов путем уменьшения ошибок. Анализ исследований показал, что отрасль обладает большим количеством способов и подходов к автоматизации большинства рутинных операций, включая инженерные расчеты и отдельные подпроцессы проектирования: от автоматической трассировки инженерных сетей до генерации архитектурных планировок. Область комплексной автоматизации проектирования малоизучена, так как требует строгого процесса стандартизации проектных решений и алгоритмизации большого количества процессов проектирования. Кро-

ме того, статистика показывает, что отрасль все еще привержена к «коробочным» решениям от сторонних вендоров и не нацелена на разработку собственных решений.

Однако среди девелоперских компаний активно создается запрос на создание систем, направленных именно на комплексную автоматизацию проектирования с минимальным участием человека. Можно считать, что создание программных комплексов или платформ, позволяющих формировать полноценные *BIM*-модели на основании параметризованных входных данных, – основное направление будущих исследований и разработок в данной области.

В том числе отмечено, что необходимым шагом для реализации создания систем комплексного проектирования и их использования являются стандартизация и структуризация внутренних бизнес-процессов и сквозных данных проектирования.

Список литературы

1. Kang, J. A Bim-Based Automatic Design Optimization Method for Modular Steel Structures: Rectangular Modules as an Example / J. Kang, W. Dong, Y. Huang // *Buildings*. – 2023. – Vol. 13. – No. 6. – P. 1410.
2. Mangal, M. Automated optimization of steel reinforcement in RC building frames using building information modeling and hybrid genetic algorithm / M. Mangal, J.C.P. Cheng // *Automation in Construction*. – 2018. – Vol. 90. – P. 39–57.
3. Park, S. Automated process for generating an air conditioning duct model using the CAD-to-BIM approach / S. Park, M. Shin, J.Y. Jang // *Journal of Building Engineering*. – 2024. – Vol. 91. – P. 109529.
4. Perrone, D. Automated seismic design of non-structural elements with building information modelling / D. Perrone, A. Filiatrault // *Automation in Construction*. – 2017. – Vol. 84. – P. 166–175.
5. Song, S. Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction / S. Song, J. Yang, N. Kim // *Computers in Industry*. – 2012. – Vol. 63. – No. 9. – P. 895–912.
6. Widjaja, D.D. A BIM-based intelligent approach to rebar layout optimization for reinforced concrete columns / D.D. Widjaja, T.S.N. Rachmawati, S. Kim // *Journal of Building Engineering*. – 2025. – Vol. 99. – P. 111604.
7. Zhang, N. BIM-based automated design of drainage systems for panelized residential buildings / N. Zhang, J. Wang, M. Al-Hussein, X. Yin // *International Journal of Construction Management*. – 2023. – Vol. 23. – No. 15. – P. 2683–2698.
8. Zhong, Y. Automated building layout generation: Implementation and comparison of STREAMER Early Design Configurator and SDaC Layout Designer / Y. Zhong, S. Hempel, A. Geiger // *Journal of Building Engineering*. – 2024. – Vol. 95. – P. 110163.
9. Ведерникова, А.А. Автоматизация инженерных расчетов в программе Autodesk Revit / А.А. Ведерникова, Р.А. Шишмарев // *BIM in Construction & Architecture*, 2020. – С. 197–204.
10. Георгиев, Н.Г. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций / Н.Г. Георгиев, К.А. Шумилов, А.А. Семенов // *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. – 2021. – № 4(38). – С. 117–123.
11. Горбова, И.Н. Цифровая трансформация строительной отрасли России / И.Н. Горбова,

- Р.Р. Аванесова, М.М. Мусаев // Вестник Академии знаний. – 2023. – Т. 2. – № 55. – С. 46–51.
12. Заторский, С.П. Автоматизация процессов проектирования в рабочей среде с помощью Dynamo Revit / С.П. Заторский, К.А. Шумилов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4(46). – С. 125–128.
13. Колчин, В.Н. Применение BIM-технологий в строительстве и проектировании / В.Н. Колчин // Инновации и инвестиции. – 2019. – Т. 2. – С. 209–214.
14. Кременецкая, Ю.Д. Автоматизация процесса проектирования вентиляции объекта строительства жилого назначения: пример выбора работ / Ю.Д. Кременецкая, С.В. Придвижкин, О.М. Зверева, А.М. Павлов // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – С. 670–680.
15. Моттаева, А.Б. Актуальные тренды цифровой трансформации строительной отрасли России / А.Б. Моттаева, В.Л. Кашинцева, И.А. Кубрак // Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2023. – Т. 12. – № 4. – С. 98–104.
16. Пушкарев, И.А. Программные технологии как средство повышения производительности проектирования и оптимизации конструкций в области строительной механики / И.А. Пушкарев, Э.М. Мусина, А.А. Тратканова // Construction and Geotechnics. – 2024. – Т. 15. – № 1. – С. 17–32.
17. Санталова, М.С. Автоматизация проектных работ в строительной компании в условиях цифровизации / М.С. Санталова, И.В. Соклакова, В.В. Горлов, Ю.А. Муза // Экономические системы. – 2021. – Т. 14. – № 2. – С. 51–57.
18. Шапорева, А.В. Современные подходы к проектированию строительных конструкций / А.В. Шапорева, Б.Б. Аубакирова, Н.Ю. Полищук // In The World Of Science and Education. – 2025. – Т. 15. – С. 9–14.
19. Юрошева, Т.А. Алгоритм проектирования несущих конструкций многоэтажного здания с использованием среды визуального программирования DYNAMO STUDIO / Т.А. Юрошева, А.В. Калиниченко, В.Г. Макиев // Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. – 2023. – Т. 49. – № 4. – С. 126–133.

References

9. Vedernikova, A.A. Avtomatizatsiya inzhenernykh raschetov v programme Autodesk Revit / A.A. Vedernikova, R.A. Shishmarev // BIM in Construction & Architecture, 2020. – S. 197–204.
10. Georgiyev, N.G. Vizual'noye programmirovaniye v zadachakh modelirovaniya stroitel'nykh konstruktsey / N.G. Georgiyev, K.A. Shumilov, A.A. Semenov // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2021. – № 4(38). – S. 117–123.
11. Gorbova, I.N. Tsifrovaya transformatsiya stroitel'noy otrasli Rossii / I.N. Gorbova, R.R. Avanesova, M.M. Musayev // Vestnik Akademii znaniy. – 2023. – Т. 2. – № 55. – S. 46–51.
12. Zatorskiy, S.P. Avtomatizatsiya protsessov proyektirovaniya v rabochey srede s pomoshch'yu Dynamo Revit / S.P. Zatorskiy, K.A. Shumilov // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya. – 2023. – № 4(46). – S. 125–128.
13. Kolchin, V.N. Primeneniye BIM-tekhnologiy v stroitel'stve i proyektirovanii / V.N. Kolchin // Innovatsii i investitsii. – 2019. – Т. 2. – S. 209–214.
14. Kremenetskaya, YU.D. Avtomatizatsiya protsessa proyektirovaniya ventilyatsii ob'yekta stroitel'stva zhilogo naznacheniya: primer vybora rabot / YU.D. Kremenetskaya, S.V. Pridvizhkin, O.M. Zvereva, A.M. Pavlov // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2024. – № 4(112). – S. 670–680.
15. Mottayeva, A.B. Aktual'nyye trendy tsifrovoy transformatsii stroitel'noy otrasli Rossii / A.B. Mottayeva, V.L. Kashintseva, I.A. Kubrak // Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologiy. – 2023. – Т. 12. – № 4. – S. 98–104.
16. Pushkarev, I.A. Programmnyye tekhnologii kak sredstvo povysheniya proizvoditel'nosti proyektirovaniya i optimizatsii konstruktsey v oblasti stroitel'noy mekhaniki / I.A. Pushkarev, E.M. Musina, A.A. Tratkanova // Construction and Geotechnics. – 2024. – Т. 15. – № 1. – S. 17–32.
17. Santalova, M.S. Avtomatizatsiya proyektnykh rabot v stroitel'noy kompanii v usloviyakh tsifrovizatsii / M.S. Santalova, I.V. Soklakova, V.V. Gorlov, YU.A. Muza // Ekonomicheskiye sistemy. – 2021. – Т. 14. – № 2. – S. 51–57.
18. Shaporeva, A.V. Sovremennyye podkhody k proyektirovaniyu stroitel'nykh konstruk-

tsiy / A.V. Shaporeva, B.B. Aubakirova, N.YU. Polishchuk // In The World Of Science and Education. – 2025. – T. 15. – S. 9–14.

19. Yurosheva, T.A. Algoritm proyektirovaniya nesushchikh konstruktsiy mnogoetazhnogo zdaniya s ispol'zovaniyem sredy vizual'nogo programmirovaniya DYNAMO STUDIO / T.A. Yurosheva, A.V. Kalinichenko, V.G. Makiyev // Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. – 2023. – T. 49. – № 4. – S. 126–133.

© И.Н. Криони, М.В. Болсуновская, 2025

УДК 331.103.1

А.И. МИНАХМЕТОВ, И.В. МОРЕВА

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева», г. Казань

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ АО «КМПО»)

Ключевые слова: бережливое производство; картирование; организация рабочего места; хронометраж; эргономический аудит.

Аннотация. В статье представлены методические подходы к оценке состояния рабочих мест, проведен анализ текущей ситуации на АО «КМПО» и обоснованы мероприятия по совершенствованию организации труда.

Цель работы – показать влияние состояния организации рабочего пространства на производственные показатели.

Задачи: рассмотреть различные методики для оценки эффективности организации рабочих мест, выявить ключевые нарушения в организации труда и сформулировать рекомендации для их устранения.

Гипотеза исследования заключалась в том, что производственные показатели можно улучшить путем совершенствования организации труда на конкретном рабочем месте. Для ее проверки применяли методы хронометража, картирования потока создания ценности и сравнительного анализа.

Полученные результаты подтвердили рабочую гипотезу, позволили сделать выводы и сформулировать практические рекомендации по снижению неэффективных затрат времени и повышению эргономичности рабочих мест.

Современные требования к организации труда на предприятиях направлены на повышение эффективности и снижение производственных издержек. Одним из факторов, значительно влияющих на эти показатели, является рациональная организация рабочих мест. Плохая организация рабочего пространства может привести к значительным потерям рабочего

времени, что, в свою очередь, отражается на общей производительности труда. Например, на АО «КМПО» был зафиксирован случай, когда рабочие из-за неправильной организации рабочего места теряли до 20 % рабочего времени на перемещения между различными участками. Это создает препятствия для увеличения выпуска и повышения качества продукции.

В связи с этим проведение регулярной оценки рабочих мест, выявление потенциальных проблем и разработка методов их устранения относятся к числу актуальных задач.

В контексте АО «КМПО» речь идет не только о внедрении новых технических решений, но и о совершенствовании процессов организации труда, что позволит повысить общую эффективность.

Существуют различные методики для оценки эффективности организации рабочих мест, каждая из которых имеет свои особенности и области применения.

Хронометраж – это метод измерения времени, которое тратится на выполнение операций. Согласно исследованиям [5], применение хронометража в машиностроительной отрасли позволило сократить потери времени на 18–22 %, при среднем показателе окупаемости (*Return On Investment (ROI)* – возврат инвестиций) порядка 250–300 % за первые полгода.

Современные цифровые инструменты, такие как *Time Study* (изучение времени) или инженерная методология *Maynard Operation Sequence Technique (MOST)* для анализа и оптимизации рабочих процессов, позволяют ускорить сбор и анализ данных до 40 % по сравнению с классическим методом [3]. Однако хронометраж требует квалифицированных специалистов.

Метод картирования потока создания цен-

Таблица 1. Результаты хронометража рабочего времени слесаря-сборщика турбинных лопаток

Параметр	До улучшений	После улучшений
Среднее время на изделие, мин.	15,0	11,2
Потери времени, мин.	5,2	0,9
Доля потерь, %	34,6	8,0
Производительность, изделий/час	4,0	5,36

ности (*Value Stream Mapping*) визуализирует весь производственный процесс и помогает выявлять избыточные шаги. Он широко используется в практике бережливого производства и позволяет наглядно увидеть все шаги процесса – от получения сырья до получения готовой продукции [4]. Карта потока создания ценности (КПСЦ) помогает выявить узкие места и избыточные затраты. Однако этот метод требует времени на обучение сотрудников и возможных дополнительных затрат на создание визуальных инструментов.

Эргономический аудит, базирующийся на ГОСТ Р ИСО 6385-2016, позволяет оценить рабочее место с точки зрения безопасности и усталости работников [1]. Это комплексная проверка рабочего места с целью оценки соответствия физических и психологических характеристик рабочего процесса. Метод позволяет не только уменьшить потери рабочего времени, но и снизить травматизм и усталость работников. В то же время он требует высоких затрат на обучение и привлечения внешних экспертов.

Для повышения эффективности организации труда на рабочем месте может быть использован принцип 5S, включающий пять элементов: сортировка, соблюдение порядка, содержание в чистоте, стандартизация и совершенствование. Его внедрение позволяет не только повысить порядок, но и улучшить рабочие процессы, сделав их более прозрачными.

Следует отметить, что на АО «КМПО» внедрены элементы 5S, но не во всех подразделениях.

По результатам анализа рабочих мест в цехах № 1 и № 6 установлено, что инструменты не всегда находятся в зоне досягаемости рабочего. Это приводит к дополнительным перемещениям и увеличивает время, затрачиваемое на выполнение операции.

По результатам анализа 20 рабочих мест, проведенного с использованием чек-листов [1], в тех же цехах № 1 и 6, средний уровень соответствия эргономическим нормативам составил 68 %.

Для улучшения работы, особенно в условиях ограниченного пространства, важно правильно распределить рабочие инструменты и материалы, то есть оптимизировать рабочее пространство. Например, в одном из цехов АО «КМПО» после введения принципов 5S удалось сократить время поиска инструмента на 40 %, а переход от статичного расположения инструментов к мобильным ящикам с тележками значительно снизил время на перемещения и повысил производительность на 10 %.

Стандартизация операций, заключающаяся в разработке стандартных операционных процедур для всех этапов работы, позволяет избежать ошибок, ускорить обучение новых сотрудников и снизить вариативность в производственном процессе. Например, применение стандартизированных чек-листов на рабочем месте слесаря-сборщика АО «КМПО» позволило повысить производительность на 15 %.

Анализ организации труда на рабочих местах АО «КМПО» с использованием различных методов оценки позволил выявить ключевые нарушения, требующие устранения:

- инструменты находятся вне зоны досягаемости, что увеличивает число лишних перемещений;
- отсутствие стандартизированных процедур на некоторых этапах снижает воспроизводимость операций;
- не соблюдаются эргономические нормативы по высоте рабочих поверхностей, что приводит к увеличению усталости персонала и снижению качества работы.

Кроме того, выявленные недостатки приводят к потере времени, увеличению брака и сни-

Таблица 1. Изменение ключевых показателей эффективности организации рабочего места

Показатель	До оптимизации	После оптимизации	Изменение (%)
Время производственного цикла (мин.)	112	83	–25,9 %
Расстояние перемещений за смену (м)	187	91	–51,3 %
Потери времени (%)	34,6	8,0	–76,9 %
Соблюдение эргономических норм (%)	64	85	+21 п.п.
Время поиска инструмента (с)	38	9	–76,3 %

жению производительности труда.

Покажем на примере, как совершенствование организации труда на конкретном рабочем месте повлияло на производственные показатели.

В качестве объекта исследования было выбрано рабочее место слесаря-сборщика турбинных лопаток. Выполнен хронометраж рабочего времени до внедрения изменений и после проведения корректирующих мероприятий (табл. 1). Для визуализации и анализа производственного процесса использовали инструмент бережливого производства – картирование.

Исследование включало в себя следующие этапы: хронометрирование, составление КПСЦ, построение диаграммы Спагетти, фотографирование текущего состояния, использование чек-листа для оценки эргономических параметров.

В ходе эксперимента было выявлено:

- имеются избыточные перемещения между рабочими зонами (до 187 м за одну рабочую смену);
- наблюдаются повторяющиеся лишние действия, не добавляющие ценности (по классификации *MUDA* – потери [4]);
- высота верстака не соответствует требованиям стандарта [2] и вызывает напряжение спины рабочего;
- отсутствует визуальный стандарт размещения инструмента.

По результатам исследования рабочего места были проведены мероприятия по совершенствованию организации рабочего пространства. Оно было реорганизовано: заготовки перемещены в зону досягаемости, установлены стеновые панели для инструментов, проведена стандартизация технологических операций.

В табл. 2 представлены сводные данные, отражающие достигнутые изменения в ключе-

вых метриках.

Анализ полученных данных показывает существенные улучшения по всем исследованным параметрам. Особую значимость, на наш взгляд, представляют снижение потерь времени и сокращение расстояний перемещения, что прямо влияет на производительность и физическую нагрузку работников.

Использование картирования позволило наглядно представить текущие потоки и оптимизировать конфигурацию рабочего места с минимальными затратами.

Полученные данные являются объективным подтверждением целесообразности внедрения мероприятий по оптимизации рабочих мест, позволившим сформулировать рекомендации по совершенствованию организации рабочего пространства во всех подразделениях основного производства:

- провести инвентаризацию рабочих мест с применением чек-листов 5S;
- обновить стандарты операций с визуализацией маршрутов действий;
- внедрить элементы визуального менеджмента и маркировки инструментов;
- ввести регулярный хронометраж на операциях, критичных по времени;
- провести обучение персонала основам эргономики и бережливого производства.

Выводы:

- с применением различных методов оценки выполнен анализ организации рабочих мест АО «КМПО» и выявлены основные нарушения, требующие устранения;
- на примере рабочего места слесаря-сборщика турбинных лопаток показано влияние состояния организации рабочего пространства на производственные показатели; особую значимость представляют снижение потерь вре-

мени и сокращение расстояний перемещения, что прямо влияет на производительность и физическую нагрузку работников;

– показано, что повышение эффективности организации рабочих мест на промышленном предприятии позволяет существенно снизить потери рабочего времени и повысить

производительность труда;

– полученные результаты позволили сформулировать рекомендации по совершенствованию организации рабочего пространства во всех подразделениях основного производства и подтвердить целесообразность их внедрения.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем. – М. : Стандартинформ, 2016. – 19 с.
2. ГОСТ 12.2.033-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 11 с.
3. Инженерная методология MOST. MOST|2П -Консалтинговая компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://prostoprocess.ru/articles/lean/most>.
4. Мабхеш, М. Картирование потока создания ценности в процессе разработки продукта в производственных системах / М. Мабхеш, В.А. Тушавин // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 9(135). – С. 45–50.
5. Тащиенко, В.П. Оптимизация технологического процесса на основе хронометража его ключевых операций / В.П. Тащиенко, Д.Б. Шатко, А.А. Баканов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 1(137). – С. 12–19.

References

1. GOST R ISO 6385-2016. Ergonomika. Primeneniye ergonomicheskikh printsipov pri proyektirovanii proizvodstvennykh sistem. – M. : Standartinform, 2016. – 19 s.
2. GOST 12.2.033-78. SSBT. Rabocheye mesto pri vypolnenii rabot sidya. Obshchiye ergonomicheskiye trebovaniya. – M. : Izdatel'stvo standartov, 1986. – 11 s.
3. Inzhenernaya metodologiya MOST. MOST|2P -Konsaltingovaya kompaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://prostoprocess.ru/articles/lean/most>.
4. Mabkhash, M. Kartirovaniye potoka sozdaniya tsennosti v protsesse razrabotki produkta v proizvodstvennykh sistemakh / M. Mabkhash, V.A. Tushavin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 9(135). – S. 45–50.
5. Tatsiyenko, V.P. Optimizatsiya tekhnologicheskogo protsessa na osnove khronometrazha yego klyuchevykh operatsiy / V.P. Tatsiyenko, D.B. Shat'ko, A.A. Bakanov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2020. – № 1(137). – S. 12–19.

© А.И. Минахметов, И.В. Морева, 2025

УДК 658.512

О.С. ХАРИНА¹, Э.Р. ЖДАНОВ¹, А.В. ОЛЕЙНИК², Е.Ю. КОЗЛОВ¹

¹НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия»;

²ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

МЕТОДЫ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Ключевые слова: высокотехнологичная продукция; гибкие методы; инновации; качество; производственный процесс.

Аннотация. Обеспечение конкурентоспособности промышленных предприятий определяется быстрыми изменениями внешней среды, включая потребность в модернизации оборудования и переходе на производство высокотехнологичных товаров гражданского назначения с высоким экспортным потенциалом. Отсутствие необходимых ресурсов и сложности в их поставке вынуждают предприятия адаптироваться путем внедрения организационно-технологических мер и повышения эффективности управления производственными системами. Растущие запросы потребителей требуют постоянного совершенствования продукции с использованием передовых технологий и инструментов. Для успешного функционирования в нестабильных условиях актуальным становится применение гибких методологий управления, которые позволяют своевременно реагировать на изменения и повышать качество продукции. Исследование направлено на подтверждение гипотезы о возможности эффективного использования существующих гибких методов не только в управлении предприятием, но и непосредственно в процессе производства. Рассмотрены наиболее подходящие методологии, изначально созданные для быстрой адаптации к изменениям требований современного рынка, способствующие повышению качества продукции и удовлетворению потребностей клиентов. Гибкие методы заменяют традиционную водопадную модель, характеризующуюся длительными сроками исполнения и снижением качества конечных результатов, обеспечивая оперативность и адаптируемость производственного процесса.

мышленных предприятий в условиях динамичной трансформации отраслей экономики осложняется не только изменениями факторов внешнего окружения, но и необходимостью переналадки технологического оборудования, связанного с переходом на выпуск высокотехнологичной продукции нового наименования, ориентированной на гражданский рынок и имеющей высокий экспортный потенциал [1]. В последнее время необходимость указанных изменений возникает все чаще в связи с отсутствием требуемых для производства ресурсов и сложностями в их закупке и логистике. Поэтому часть предприятий вынуждена приостанавливать свою деятельность или вносить изменения в отлаженные технологические процессы, представляющие собой последовательность сложных технологических операций. Это приводит к тому, что предприятие должно оперативно реагировать на возникающие изменения и предусматривать введение комплекса согласованных организационно-технологических мероприятий, позволяющих обеспечивать эффективное управление производственной системой. Кроме того, существует необходимость в удовлетворении растущих запросов конечного потребителя и реализации их в выпускаемом продукте с учетом возможностей современных технологий, материалов и инструментов. Данные обстоятельства говорят о том, что для производственных предприятий актуально использование гибких методологий управления, которые могли бы повысить эффективность работы в условиях «нестабильности» ресурсов.

Гипотезой данного исследования является то, что существующие методологии гибкого управления, а также современные инструменты, разработанные на их основе, могут быть использованы не только в системе менеджмента предприятия, но и в системе управления производством. С целью подтверждения выдвинутой гипотезы были рассмотрены гибкие мето-

Обеспечение конкурентоспособности про-

логии, которые наибольшим образом подходят под задачи управления производством.

Гибкие методологии управления были созданы в ответ на необходимость адаптации к быстро меняющимся условиям и требованиям современного мира, где традиционные подходы к управлению оказались недостаточно эффективными. В первую очередь они касались разработки программных продуктов, но со временем «проникли» во многие другие сферы жизни и отрасли. Так как водопадная модель, представляющая собой последовательный процесс с четко определенными этапами, не успевала реагировать на изменения в требованиях и условиях рынка, что часто приводило к затягиванию сроков, увеличению затрат и снижению качества конечного продукта, то разработанные гибкие методологии были ориентированы на потребность в повышении качества продукции и удовлетворенности клиентов.

Наиболее распространенной методологией гибкого управления является *Agile*. Манифест *Agile* определил основные принципы и ценности, лежащие в основе гибких методологий, он провозглашает важность людей и взаимодействий, сотрудничества с клиентом и готовности к изменениям [2].

Еще одним инструментом, способным ориентироваться на конечного потребителя с сохранением высокого качества продукции, является *Lean* – философия, направленная на создание максимальной ценности для клиента при минимальных затратах и потерях. *Lean* широко применяется в управлении проектами для повышения эффективности, снижения затрат и ускорения выполнения задач. Данная методика помогает устранить потери, которые могут проявляться в виде ненужных процессов, избыточной документации, задержек и перепроизводства. Инструменты и методы *Lean* позволяют выявлять и устранять такие потери, обеспечивая более эффективное использование ресурсов. Это способствует созданию упорядоченной и продуктивной рабочей среды. В *Lean* одним из ключевых направлений является непрерывное улучшение (*Kaizen*), которое вовлекает всю команду в процесс постоянного развития. Регулярные встречи, анализ и оптимизация процессов способствуют повышению качества и эффективности выполнения задач и проектов. Это достигается благодаря активному участию всех членов команды в выявлении областей для улучшения и во внедрении необходимых из-

менений. *Lean*-философия способствует более эффективной оценке и управлению рисками. Постоянное совершенствование процессов и вовлечение команды позволяют быстро выявлять и устранять потенциальные проблемы, которые могут появляться на ранних стадиях производства, что снижает вероятность возникновения серьезных проблем в будущем и повышает общую надежность.

Kanban является одной из гибких методологий управления проектами, которая позволяет улучшить производительность команды и качество конечного продукта. Возникнув в японской промышленности, *Kanban* была адаптирована для использования в различных областях, включая разработку программного обеспечения, маркетинг, личную производительность и другие сферы. *Kanban* отличается высокой гибкостью и может быть интегрирован в любой существующий процесс управления. *Kanban* позволяет всем членам команды и заинтересованным сторонам видеть текущее состояние проекта, что способствует лучшему пониманию и контролю рабочего процесса. Методология позволяет легко адаптироваться к изменениям в требованиях и приоритетах без необходимости серьезных изменений в процессах, задачи могут быть добавлены или изменены в любой момент.

Например, компания по производству одежды 12 Storeez в 2017 г. внедрила данную методологию в связи с возникшими сложностями оценки эффективности производственной линии и риска срыва изготовления продукции к установленному сроку [3]. Для решения проблемы с помощью *kanban*-доски был визуализирован процесс производства и проведено его деление на ключевые блоки: продажа, логистика, разработка моделей и другие. В результате внедрения компании удалось провести приоритезацию задач, сделать фокус команды на производство продукции и достичь результата производства 12 коллекций одежды в течение одного календарного года.

Crystal – это семейство гибких методологий управления проектами, разработанных Алистером Кобурном [4]. Эти методологии представляют собой адаптивные подходы к управлению проектами, которые акцентируются на гибкости, сотрудничестве и приспособляемости к изменяющимся условиям. При использовании данного инструмента команда ставит перед собой задачу обеспечить непрерывное взаимодействие с заказчиком. Это позволяет уточнять



Рис. 1. Линейная модель создания инновационного продукта [7]

требования, получать обратную связь и обеспечивать соответствие продукта ожиданиям клиента.

Таким образом, можно выделить следующий ряд возможностей, которые предоставляют системы гибкого управления для целей и задач управления производством.

1. Адаптивность. Исследованные методологии позволяют легко адаптироваться к изменениям требований и условий. Поскольку планирование является непрерывным процессом, это дает возможность пересматривать приоритеты и адаптироваться к изменениям.

2. Фокус на конечном потребителе продукции. Методологии ориентированы на удовлетворение потребностей клиента и конечных пользователей.

3. Вовлечение команды в ход работы. Все члены «команды» (производственного цикла) самостоятельно участвуют в определении приоритетных задач, это обозначает активное вовлечение сотрудников в весь цикл разработки и понимание эффективности процесса в целом.

Одним из ключевых преимуществ гибких методологий является их способность быстро реагировать на изменения. В процессе управления производством это означает оперативное внесение корректировок в производственный процесс на основе обратной связи или изменений в требованиях стандартов качества производимой продукции. В отличие от традиционных моделей, где такие изменения могут потребовать значительных затрат времени и ресурсов, рассмотренные инструменты (*Agile*, *Crystal*, *Kanban*, *Lean*) позволяют внедрять их на каждом этапе разработки.

В качестве перспективного направления дальнейшего исследования предлагается проанализировать процесс изготовления сложной наукоемкой высокотехнологической продукции и оценить применимость внедрения гибких методологий в процесс управления производством такой продукции.

Наукоемкая высокотехнологическая продукция подразумевает под собой сложные технологические процессы, которые требуют внедрения новых или продвинутых технологий [5]. К ним можно отнести аддитивные технологии, 3D-печать, применение композитных материалов, технологии цифровых двойников, а также другие современные возможности. Все это приводит к тому, что важным вопросом является вся цепочка по управлению производством: освоение технологии – подготовка производства – создание прототипа – внедрение/коммерциализация продукта. Следует отметить, что подготовка к освоению технологии и подготовка производства занимают львиную долю всей цепочки по изготовлению прототипа (*MVP*) и в дальнейшем конечного продукта. Процессы освоения и подготовки в наукоемких отраслях часто требует не только существенных первоначальных финансовых и временных затрат, но и применения нестандартного высокотехнологического оборудования. Следующий далее процесс изготовления становится окупаемым, в случае если конечная продукция завоевывает определенную нишу и постепенно расширяет рынки сбыта. При этом важным вопросом при подготовке к производству является оценка экономической эффективности и целесообразности применения «подобранной» технологии или оборудования, которые в дальнейшем позволяют с большей маржинальностью реализовывать процесс выпуска конечного изделия. Безусловно, у каждой отрасли, как и у каждого высокотехнологичного продукта, есть своя специфика. Например, в создании бортовых гравитационных комплексов важным вопросом является материалы: одно и то же изделие можно создать из традиционных материалов (в том числе иностранного производства), а можно внедрить отечественную технологию *LTCC*, что позволяет миниатюризировать конечные конструкции и устройства [6].

Традиционно многие производители высо-



Рис. 2. Модель интегрированных систем и сетей [7]



Рис. 3. Жизненный цикл наукоемкой высокотехнологичной продукции

котехнологической продукции придерживаются схемы, разработанной еще в 1960-х гг. (рис. 1), где создание инновационного продукта рассматривается как «процесс открытий, в котором новые знания трансформируются в новые продукты, проходя определенные этапы» [7]. Однако уже в начале 21 века стало очевидным, что конкурентоспособное преимущество базируется в основном на других элементах – «на неявных, скрытых знаниях, которые стали основой для нового поколения моделей инновационного процесса, основанных на знаниях и обучении» (рис. 2) [7].

Таким образом, в устоявшуюся цепочку создания наукоемкой высокотехнологической продукции (рис. 3) встраиваются процессы управления производством. Это позволяет контролировать не только непосредственно производство продукта как такового, но и всю цепочку от идеи до внедрения/коммерциализации.

Это означает, что внедрение гибких методов в эту схему будет целесообразным.

Главной особенностью процессов на этапе фундаментальных и поисковых исследований является минимальное ограничение творческой активности ответственных за их реализацию лиц. В рамках фундаментального исследования может возникнуть необходимость проверить множество гипотез или провести серию экспериментов. Применение *Kanban* позволит разбить исследование на небольшие этапы (итерации), каждый из которых будет завершаться получением промежуточных результатов. Это поможет быстрее выявить ошибки и скорректировать направление работы. На данном этапе также можно использовать *Scrum*: вместо того чтобы планировать долгосрочный проект на год вперед, можно разделить его на короткие циклы (спринты). После каждого спринта анализировать получаемые результаты, вносить из-

менения в план и определять следующий шаг. Так как научно-исследовательская работа часто сталкивается с неопределенностью, то применение *Agile* на данном этапе позволит оперативно пересматривать цели и приоритеты в зависимости от текущих результатов и условий. Гибкая методология позволяет легко адаптировать планы под новые данные или внешние факторы. Часто при проведении поисковых исследований важно обеспечить взаимодействие между специалистами из разных областей, что также может быть более эффективным при использовании гибких методологий, поощряющих создание кросс-функциональных команд, где каждый участник обладает необходимыми навыками и знаниями для выполнения задач, тем самым ускорив процесс решения сложных проблем.

Главная особенность процессов на этапе прикладных исследований – трансформация новшества в нововведение. Здесь важно найти оптимальный способ реализации и создания нового продукта. Это один из самых важных этапов при управлении производством продукции. При проведении прикладных исследований существенную роль играет человеческий фактор, а с учетом привлечения специалистов из разных областей для организации эффективной работы применим метод *Crystal*, который позволяет адаптироваться под команду в зависимости от состава исследовательской группы и характера задач. Данный метод предполагает сосредоточение на сути исследований, избегая излишней бумажной работы. Однако при нахождении оптимального решения следует его детально зафиксировать документально. На этапе прикладных исследований уместно применение *Agile* для оценки риска возникновения непредвиденных обстоятельств, таких как изменение требований или появление новых данных, что позволяет заранее подготовиться к возможным изменениям. Применение *Lean* поощряет создание минимально жизнеспособных продуктов (*MVP*) для проверки гипотез. В контексте прикладных исследований это может означать проведение быстрых экспериментов с целью получения предварительных данных до перехода к более масштабным исследованиям. Кроме того, данная методология поддерживает автоматизацию рутинных задач, что позволяет исследователям сосредоточиться на более творческих и аналитических аспектах своей работы.

На этапе научно-технической разработки

главной задачей является создание документации, которая в дальнейшем будет использована в производственном процессе. На данном этапе обосновано применение *Agile*: разделение процесса на спринты, включающие в себя задачи или части процесса, которые необходимо завершить за определенный период времени. При регулярной демонстрации промежуточных результатов и сборе отзывов от заинтересованных сторон можно оперативно выявлять проблемы и корректировать дальнейшую работу. Применение *Lean* на этапе научно-технической разработки поможет устранить виды деятельности, которые не добавляют ценности конечному продукту, а также лишние согласования, повторные тесты или избыточную документацию.

Главная задача процесса производства – грамотно организовать освоение и подготовку производства нового продукта. Для этого этапа уже традиционно применяются инструменты автоматизации различного рода, начиная от систем автоматизированного проектирования (*САПР*) и заканчивая крупными *ERP*-системами и *IoT*-решениями. На данном этапе в дополнение к применяемым инструментам можно использовать *Kanban*, что позволит анализировать время прохождения каждой задачи через производство, выявить узкие места и улучшить общую производительность. Применение *Lean*-философии может помочь исключить «лишние» процессы: сократить этапы обработки, уменьшить запасы сырья и готовой продукции. Например, в электронике применение *Agile* может обеспечить быстрое тестирование новых компонентов и внесение изменений в дизайн, а *Kanban* – управление сборочными линиями с обеспечением равномерной загрузки рабочих мест. *Agile* и *Kanban* в фармацевтике помогут организовать клинические испытания и контроль качества препаратов, обеспечивая быстрое получение обратной связи и оперативное внесение изменений. *Lean*-подход предполагает постоянное улучшение процессов и адаптацию к меняющимся условиям рынка. Это особенно важно при производстве высокотехнологичных товаров. Кроме того, данная философия фокусируется на удовлетворении потребностей клиентов, что подразумевает выпуск высококачественных продуктов с минимальными затратами.

Таким образом, очевидно, что использование гибких методов (*Agile*, *Crystal*, *Kanban*,

Lean) позволяет сократить временные затраты при традиционно длительных во времени процессах управления производством, протекающих на этапах фундаментальных, поисковых, прикладных исследований, а также при научно-технической разработке, без снижения качества получаемого результата. Механизмы данных инструментов апробированы многократно на практике в процессах управления проектами,

что позволяет «перенести» опыт их применения на процессы управления производством. Кроме того, возможность внесения изменений на любом этапе цепочки создания конечного изделия позволяет найти действительно оптимальное решение с наилучшим результатом без существенных корректировок всего процесса разработки наукоемких высокотехнологических продуктов.

Работа выполнена за счет средств Государственного задания №FSFZ-2024-0048.

Список литературы

1. Еленева, Ю.Ю. Управление корпоративными знаниями в условиях роста: Учет интересов заинтересованных сторон, центры ответственности / Ю.Ю. Еленева, А.А. Харин, К.С. Еленев, В.Н. Андреев, О.С. Харина, Е.В. Крючкова // Журнал производственной науки и технологий CIRP. – 2018. – Т. 20. – С. 207–216.
2. Манифест Agile: манифест [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://agilemanifesto.org/iso/ru/manifesto.html>.
3. 12 Storeez – 12 коллекций женской одежды в год с помощью Agile [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://onagile.ru/industries/fashion/12Storeez>.
4. Чекмарев, А.В. Управление цифровыми проектами и процессами: учебное пособие для академического бакалавриата / А.В. Чекмарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 424 с.
5. Жданов, Э.Р. Проектирование антенной решетки из состава бортовой аппаратуры высокоскоростной радиолинии / Э.Р. Жданов, А.О. Славянский, О.С. Харина, А.В. Шпак // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2023. – Т. 22. – № 4. – С. 59–70.
6. Жданов, Е.Р. Исследование антенных решеток с неэквидистантными излучателями / Е.Р. Жданов, А.О. Славянский, О.С. Харина, А.В. Шпак // Веб-конференции E3S. – 2024. – Т. 471. – С. 05001.
7. Харин, А.А. Управление инновационными процессами: учебник для образовательных организаций высшего образования / А.А. Харин, И.Л. Коленский, А.А. Харин (мл.). – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – 473 с.

References

1. Yeleneva, YU.YU. Upravleniye korporativnymi znaniyami v usloviyakh rosta: Uchet interesov zainteresovannykh storon, tsentry otvetstvennosti / YU.YU. Yeleneva, A.A. Kharin, K.S. Yelenev, V.N. Andreyev, O.S. Kharina, Ye.V. Kryuchkova // Zhurnal proizvodstvennoy nauki i tekhnologii CIRP. – 2018. – T. 20. – S. 207–216.
2. Manifest Agile: manifest [Electronic resource]. – Access mode : <https://agilemanifesto.org/iso/ru/manifesto.html>.
3. 12 Storeez – 12 kollektsiy zhenskoy odezhdy v god s pomoshch'yu Agile [Electronic resource]. – Access mode : <https://onagile.ru/industries/fashion/12Storeez>.
4. Chekmarev, A.V. Upravleniye tsifrovymi proyektami i protsessami: uchebnoye posobiye dlya akademicheskogo bakalavriata / A.V. Chekmarev. – 2-ye izd., pererab. i dop. – M. : Izdatel'stvo Yurayt, 2024. – 424 s.
5. Zhdanov, E.R. Proyektirovaniye antennoy reshotki iz sostava bortovoy apparatury vysokoskorostnoy radiolinii / E.R. Zhdanov, A.O. Slavyanskiy, O.S. Kharina, A.V. Shpak // Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroyeniye. – 2023. – T. 22. – № 4. – S. 59–70.

6. Zhdanov, Ye.R. Issledovaniye antennoykh reshetok s neekvidistantnymi izluchatelyami / Ye.R. Zhdanov, A.O. Slavyanskiy, O.S. Kharina, A.V. Shpak // Veb-konferentsii E3S. – 2024. – T. 471. – S. 05001.

7. Kharin, A.A. Upravleniye innovatsionnymi protsessami: uchebnik dlya obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya / A.A. Kharin, I.L. Kolenskiy, A.A. Kharin (ml.). – Moskva ; Berlin : Direkt-Media, 2016. – 473 s.

© О.С. Харина, Э.Р. Жданов, А.В. Олейник, Е.Ю. Козлов, 2025

УДК 004.89

О.В. БУЛЫГИНА

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Смоленск

НЕЧЕТКИЙ БИОЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА УЧАСТНИКОВ МУЛЬТИПРОЕКТА СОЗДАНИЯ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: алгоритм светлячков; биоэвристики; гибридизация; многокритериальная оптимизация; мультипроект; наукоемкая продукция; нечеткая кластеризация.

Аннотация. Сегодня ключевым способом инновационного развития отечественной промышленности является организация собственных производств критически важной наукоемкой продукции. Целью статьи является разработка метода формирования состава участников мультипроектов создания такой продукции, выполняемого на основе анализа их инновационного потенциала и факторов внешнего окружения. С математической точки зрения требуется найти такую комбинацию организаций (разработчиков, поставщиков, подрядчиков, производителей, потребителей и т.п.), которая будет «оптимальна» по нескольким критериям проектной реализуемости (технологической, научно-технической, организационной, экономической и т.п.) в многомерном пространстве в рамках заданных ресурсных, временных и иных ограничений. Для решения этой задачи был предложен стохастический метод, основанный на биоэвристике, вдохновленной световой коммуникацией светлячков, модифицированной путем введения нечеткости в этап инициации популяции и объединенной с подходами многоцелевого поиска. Результаты валидации подтвердили перспективность его использования для задач условной многокритериальной оптимизации в мультипроектном менеджменте.

Введение

В современных условиях беспрецедентного

давления на российскую экономику ключевым направлением технологического развития является создание собственных производств наукоемкой продукции, критически важной для отечественной промышленности. Обычно такая продукция разрабатывается в рамках мультипроектов, объединяющих множество инновационных проектов для получения синергетического эффекта и достижения стратегических целей. Их отличительными особенностями являются следующие аспекты:

- высокая доля затрат на научные исследования (не менее 5 % от совокупных капитальных вложений);
- большое количество участников, задействованных в разных этапах процесса создания наукоемкой продукции (инвесторы, разработчики, подрядчики, поставщики сырья, материалов, комплектующих, оборудования, производители, потребители и т.п.);
- возможность недостижения поставленных целей (только 10 % инновационных проектов доходят до этапа коммерциализации);
- получение непредсказуемых результатов (например, может изменяться или расширяться область применения инновации, могут создаваться побочные продукты и т.п.).

В значительной степени успешность мультипроектов зависит от возможностей их участников, а также благоприятности и стабильности факторов внешней среды. Исходя из вышесказанного, особую актуальность приобретает задача разработки инструментария формирования состава участников мультипроектов создания наукоемкой продукции на основе анализа их инновационного потенциала и внешнего окружения с учетом проектных ограничений и допущений.



Рис. 1. Процедура многокритериального поиска наилучшего решения

Математическая постановка задачи формирования состава участников мультипроекта создания наукоемкой продукции

Согласно ГОСТ Р 56714.2-2015 формирование состава участников мультипроекта создания наукоемкой продукции выполняется на стадии его определения с учетом различных ограничений (ресурсных, временных и т.п.). Суть данного процесса заключается в нахождении такой комбинации участников, которая будет наилучшей среди множества альтернатив по нескольким, нередко конфликтующим критериям. Таким образом, возникает задача условной многокритериальной оптимизации, в которой в качестве целевых функционалов будут рассматриваться показатели проектной реализуемости (технологической, научно-технической, организационной, экономической, политической, экологической и т.п.).

Математическая постановка задачи условной многокритериальной оптимизации требует задания:

– $X \subset \mathbb{R}^n$ – области допустимых решений в n -мерном пространстве (т.е. непустого множества, содержащего все возможные альтерна-

тивы);

– $f = (f_1, f_2, \dots, f_m) \rightarrow \text{extr}$, $\text{extr} = \{\min, \max\}$ – векторного критерия оптимизации из m функционалов на множестве X ;

– G – барьерных ограничений в виде системы неравенств.

На рис. 1 показана процедура многокритериального поиска состава участников мультипроекта. Видно, что сначала выполняется формирование ранжированного списка лучших альтернатив по каждому критерию, а затем находится наилучшее решение согласно выбранному подходу (путем редукции множества критериев к одному или последовательного поиска по всем). Выбор конкретного МСО-метода (сокр. от *Multicriteria optimization*) выполняется исходя из концептуальной постановки оптимизационной задачи. Например, для задач с независимыми критериями, для которых определены приоритеты, применимы свертки (скаляризация векторно-целевой функции) или лексикографическая (последовательная) оптимизация, а с неприоритизированными критериями – методы идеальной точки или главного критерия. Для конфликтующих критериев обычно выполняют анализ доминирования решений по Парето, Слейтеру или Джеоффриону.

Fuzzy Firefly algorithm

```

1 Begin
2 Initiation firefly populations  $S1, \dots, Sm$  by FCM-method
3 For each population:
4   Calculate fitness-function  $f$  for each firefly
5   While iterations < 100
6     For each firefly  $x_n$  in population:
7       If  $x_j < x_i$  then
8         Calculate distance  $r$  between  $x_j$  and  $x_i$ 
9         Update firefly's position
10        Update fitness-function  $f$ 
11        Selection best fireflies
12        Migration best fireflies
13    Output  $k$  best fireflies
14 Calculate the best solution by MCO-method
15 Output the best solution
16 End

```

Рис. 2. Псевдокод нечеткого FA-алгоритма

Поскольку концептуальная постановка задачи формирования состава участников мультипроекта не требует строго оптимального решения по каждому критерию, можно использовать метаэвристические методы, способные находить близкие к таковым решения за приемлемое время [1].

Нечеткий биоэвристический метод формирования состава участников мультипроекта

Все метаэвристики принято разделять на методы, исследующие единственное решение путем его уточнения, и методы, параллельно исследующие несколько решений (популяцию), которые позволяют намного быстрее находить хорошие решения, особенно в многомерных невыпуклых пространствах. Среди популяционных методов особое развитие получили биоэвристики, моделирующие поведение социальных животных в различных целях (миграции, поиска пищи, охоты и т.п.) [2]. Они базируются на том, что по отдельности особи ведут себя «примитивно», а вместе – «разумно» за счет информационного обмена между собой и/или с внешней средой.

Согласно теореме «об отсутствии бес-

платных обедов» (*No free lunch theorems for optimization*), не существует биоэвристики, способной находить наилучшее решение для любой задачи [3]. Выбор конкретного алгоритма следует выполнять исходя из концептуальной и математической постановки задачи и особенностей выполнения поисковых операций, что, в свою очередь, может потребовать его модификации в последующем.

Для решения однокритериальных подзадач был выбран алгоритм *Firefly algorithm (FA)*, предложенный X-Sh. Yang в 2007 г., который вдохновлен процессами световой коммуникации жуков-лампиридов (светлячков) на основе биolumинисценции [4]. В его основе лежат следующие бионические принципы:

- степень привлекательности светлячка пропорциональна его яркости (значению фитнес-функции, оценивающей пригодность каждого решения), которая уменьшается с увеличением расстояния между особями;
- светлячки движутся в направлении более привлекательных особей по следующему правилу:

$$x_i^{new} = x_i + \beta \cdot e^{-\gamma r_{ij}} \cdot (x_j - x_i) + \alpha \cdot rand(-1, 1),$$

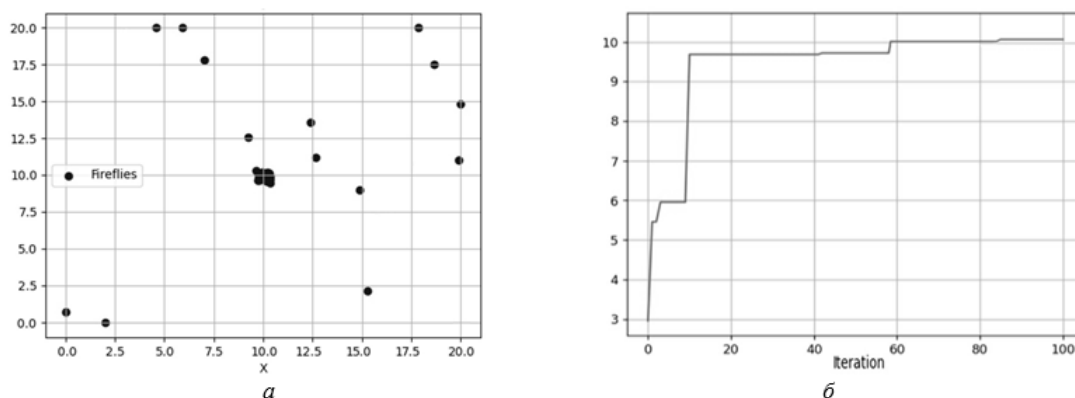


Рис. 3. Результаты запуска нечеткого *FA*-алгоритма

где x_i – текущая позиция светлячка; x_j – позиция привлекательного светлячка; r_{ij} – евклидово расстояние между особями; β – коэффициент привлекательности; γ – коэффициент затухания привлекательности с расстоянием; α – коэффициент, отвечающий за случайный характер движения особей; $rand(-1,1)$ – случайное число в диапазоне $[-1; 1]$.

Исходя из концептуальной постановки задачи формирования состава участников мультипроекта поиск лучших комбинаций в однокритериальных подзадачах может осложняться масштабом пространства решений ввиду большого числа используемых переменных. Для разрешения этой проблемы предлагается на этапе инициации популяции выполнить кластеризацию доступных решений по рассматриваемому критерию с помощью алгоритма *Fuzzy C-Means (FCM)*, позволяющего формировать пересекающиеся кластеры, а затем случайным образом распределить светлячков по каждому кластеру [5]. Ниже представлен листинг псевдокода предлагаемой модификации *FA*-алгоритма, программно реализованной на высокоуровневом языке *Python*.

Проверка адекватности разработанного метода формирования состава участников мультипроекта выполнялась путем сравнения с результатами ручного подбора на примере построения химико-технологической системы многостадийной переработки отходов обогащения апатит-

нефелиновой руды [6]. Для этого было сформировано множество возможных участников из 65 организаций и определено семь приоритезированных критериев для проведения отбора. С использованием нечеткого *FA*-алгоритма были сформированы ранжированные списки участников по каждому критерию. Например, на рис. 3 показаны результаты запуска алгоритма для «технического» критерия (а – финальное расположение светлячков на 100 итераций, б – динамика фитнес-функции по ходу выполнения итераций). Затем с помощью метода линейной свертки был определен обобщенный список из 20 организаций, которые будут участвовать в реализации мультипроекта. С допустимой погрешностью (менее 5 %) он отличался от списка, сформированного экспертами.

Заключение

Научно-практическая значимость предложенного метода, основанного на гибридизации биоэвристики, вдохновленной световой коммуникации светлячков, с нечеткой кластеризацией и подходами многоцелевого поиска, заключается в возможности его использования для многокритериальных задач мультипроектного менеджмента в части развития инструментария формирования наилучшего состава участников взаимосвязанных проектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Список литературы

1. Булыгина, О.В. Направления гибридизации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой ло-

гики 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.

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. Multiobjective Firefly Algorithm for Continuous Optimization / X.-S. Yang // Engineering with Computers. – 2021. – Vol. 29. – P. 175–184.

5. Булыгина, О.В. Нечеткий биоэвристический метод формирования программы создания химико-технологической системы переработки отходов обогащения руды / О.В. Булыгина // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 4. – С. 168–173.

6. Пучков, А.Ю. Многоуровневые алгоритмы оценки и принятия решений по оптимальному управлению комплексной системой переработки мелкодисперсного рудного сырья / А.Ю. Пучков, М.И. Дли, Н.Н. Прокимов, Д.Ю. Шутова // Прикладная информатика. – 2022. – Т. 17. – № 6. – С. 102–121.

References

1. 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.

5. Bulygina, O.V. Nchetkiy bioevristicheskiy metod formirovaniya programmy sozdaniya khimiko-tekhnologicheskoy sistemy pererabotki otkhodov obogashcheniya rudy / O.V. Bulygina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 4. – S. 168–173.

6. Puchkov, A.YU. Mnogourovnevyye algoritmy otsenki i prinyatiya resheniy po optimal'nomu upravleniyu kompleksnoy sistemoy pererabotki melkodispersnogo rudnogo syr'ya / A.YU. Puchkov, M.I. Dli, N.N. Prokimnov, D.YU. Shutova // Prikladnaya informatika. – 2022. – T. 17. – № 6. – S. 102–121.

© О.В. Булыгина, 2025

УДК 658.5

И.В. УРАКОВ, И.А. КОРОСТЕЛКИНА

НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия», г. Москва

СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ БЛАГОНАДЕЖНОСТИ КОНТРАГЕНТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

Ключевые слова: аналитический функционал; бизнес-пользователи; верификация контрагентов; интеграционные возможности; информационные системы; компаративный анализ; функциональные различия; экономические модели.

Аннотация. Статья посвящена компаративному анализу информационных систем верификации контрагентов, представленных на российском рынке. Цель исследования – выявление функциональных, интеграционных и экономических различий между системами верификации для определения их оптимального применения в деловой практике. Задачи исследования включают: анализ аналитического функционала информационных платформ; оценку их интеграционных возможностей; исследование рыночного позиционирования систем; сравнительный анализ экономических моделей доступа. Гипотеза исследования состоит в том, что существует значительная дифференциация между системами верификации контрагентов по параметрам информационной полноты, функциональности и ценовой доступности, что обуславливает их различную применимость для разных категорий бизнес-пользователей. Методы исследования включают компаративный и системный анализ, параметрическое сопоставление технических характеристик систем. Результаты исследования демонстрируют существенные различия в методологических подходах к обработке данных, выявляют доминирование системы СПАРК (71,5 % проникновения среди крупного и среднего бизнеса), а также определяют оптимальные сценарии использования каждой из проанализи-

зированных систем в зависимости от потребностей бизнеса и экономических параметров доступа.

Введение

В современных экономических реалиях проблема недобросовестного поведения контрагентов приобретает все большую актуальность [4]. Надежность деловых партнеров становится ключевым фактором устойчивого развития бизнеса, а риски при взаимодействии с неблагонадежными компаниями существенно возрастают.

По данным исследовательского агентства «MAGRAM Market Research», почти две трети российских предпринимателей (64 %) столкнулись с проблемами в отношениях с контрагентами. Наиболее распространенными нарушениями являются финансовые: более половины респондентов (54 %) отметили значительные задержки оплаты, а 44 % столкнулись с полным отказом от оплаты поставленных товаров. Тревожным сигналом также является ситуация, когда оплаченные товары или услуги не поставляются (19 %), а клиенты «переманиваются» (14 %) [2; 3].

Сложившаяся ситуация не осталась без внимания регуляторов. На законодательном уровне были приняты документы, обязывающие организации проводить тщательную проверку потенциальных партнеров. Примером служит стандарт СТО БР ИББС-1.4-2018, утвержденный Банком России, который требует от организаций банковской системы управ-

лять рисками информационной безопасности при работе с внешними исполнителями. Формирование эффективной системы оценки и мониторинга благонадежности контрагентов становится не просто желательным, но необходимым элементом корпоративной безопасности в условиях растущих рисков и неопределенности рыночной среды. Проявлять должную коммерческую осмотрительность при выборе контрагента нас обязывают ст. 54.1 Налогового кодекса РФ и письмо Федеральной налоговой службы (ФНС) России от 10.03.2021 № БВ-4-7/3060. Критерии, достаточные для определения добросовестности контрагента, приведены в письме ФНС: «инспекторам рекомендуется уточнять, известны ли налогоплательщику основные данные о стороне сделки. Также следует оценивать и сами договоры – насколько детально прописаны их условия, как они соотносятся с рыночными, установлена ли ответственность за нарушение» [1].

Методы исследования

В рамках исследования проведен комплексный анализ основных информационных платформ (*Rusprofile* – сервис проверки и анализа контрагентов; Информационно-аналитическая система Глобас; Сетевое издание Информационный ресурс СПАРК; СКБ Контур; Электронный сервис «Прозрачный бизнес») [5–9] по следующим параметрам: полнота и актуальность данных; источники информации; функционал для оценки рисков; наличие аналитических инструментов; возможности интеграции и API; пользовательский интерфейс и удобство работы; ценовая политика и модели подписки; дополнительные сервисы. В процессе исследования использовался компаративный анализ, что позволило выявить ключевые различия между информационными платформами, их сильные и слабые стороны, а также системный анализ, обеспечивающий комплексное исследование каждой платформы как целостной системы, включая ее технические, аналитические и пользовательские компоненты. Для сравнения информационных платформ по заранее заданным критериям и изучения статистики проникновения платформ среди бизнес-пользователей применяли метод параметрического сопоставления и анализ рыночных данных.

Результаты исследования

Российский рынок информационно-аналитических систем проверки контрагентов представлен несколькими крупными игроками [5–9], каждый из которых предлагает собственный подход к сбору, обработке и представлению данных. В последние годы наблюдается тенденция к расширению функциональных возможностей таких систем – от простого агрегирования официальных сведений до применения предиктивной аналитики и машинного обучения для раннего выявления рисков. На российском рынке представлен ряд информационно-аналитических платформ, каждая из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

Источники данных и полнота информации

Комплексный анализ информационно-аналитических платформ демонстрирует существенную дифференциацию по параметрам интеграции источников данных и агрегированной информационной полноты.

Система СПАРК (ЗАО «Интерфакс») характеризуется наиболее обширной интегрированной базой, консолидирующей информационные массивы из более чем 20 официальных государственных источников, включая ФНС, Федеральную службу судебных приставов (ФССП), Центральный банк Российской Федерации (ЦБ РФ), Федеральную антимонопольную службу (ФАС), Федеральную службу государственной статистики (Росстат) и судебные органы различных юрисдикций. Функциональность платформы обеспечивает доступ к верифицированным данным о юридических лицах не только Российской Федерации, но и зарубежных юрисдикций, что позволяет проводить комплексную транснациональную аналитику. Дополнительным информационным преимуществом является интеграция сведений о платежной дисциплине хозяйствующих субъектов и систематизированных материалов средств массовой информации.

Аналитическая система Контур.Фокус реализует верификационные алгоритмы в отношении российских и иностранных юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и физических лиц посредством интеграции более 30 специализированных баз данных. Методологической особенностью данной платфор-

мы является дифференцированный подход к предоставлению аналитической информации в зависимости от выбранного пользователем тарифного плана. Система инкорпорирует функциональность графового анализа связанных организаций, что существенно расширяет аналитические возможности при исследовании корпоративных структур.

Государственная информационная система «Прозрачный бизнес», функционирующая под эгидой ФНС России, характеризуется предоставлением верифицированной официальной информации непосредственно из первичных источников налоговых органов. Данный методологический подход обеспечивает исключительную достоверность предоставляемой информации, однако детерминирует ограничения в объеме и разнообразии доступных для анализа данных.

Информационно-аналитическая система *Rusprofile* осуществляет агрегацию данных из публично доступных официальных источников с последующей структурной систематизацией. Система Глобас, разработанная компанией *Credinform*, позиционируется разработчиками как интегрированный источник верифицированных сведений о хозяйствующих субъектах. Согласно официальной документации, процедуры верификации осуществляются посредством сопоставительного анализа данных из общедоступных и проприетарных информационных баз, что методологически обеспечивает высокий уровень достоверности представленной информации.

Системный анализ интеграционных возможностей верификационных платформ позволяет идентифицировать значимую дифференциацию по параметрам технологической совместимости с корпоративными информационными системами. СПАРК, Контур.Фокус и Глобас характеризуются наличием развитого программного интерфейса (*API*), обеспечивающего технологическую возможность интеграции аналитических функций в корпоративные бизнес-процессы, что способствует оптимизации внутренних процедур верификации контрагентов и автоматизации принятия решений на основе агрегированных данных. *Rusprofile* отличается оптимизированным пользовательским интерфейсом и доступностью базовой информации без необходимости предварительной аутентификации пользователя, что методологически соответствует концепции низкопорого-

вого доступа к информации о хозяйствующих субъектах.

Согласно исследованиям, проведенным аналитической компанией *Deloitte* [9], система СПАРК занимает доминирующее положение на рынке информационно-аналитических услуг с показателем проникновения 71,5 % среди компаний крупного и среднего бизнеса, использующих данную платформу для верификации благонадежности контрагентов. Контур.Фокус и Глобас демонстрируют методологическую ориентацию на диверсифицированный сегмент рынка, охватывающий хозяйствующие субъекты различного масштаба (от крупных корпоративных структур до представителей малого бизнеса), что отражается в гибкой системе тарифных планов. «Прозрачный бизнес» методологически оптимизирован для хозяйствующих субъектов, требующих доступа к базовой официальной информации для проведения первичной верификации контрагентов без необходимости углубленного аналитического исследования. *Rusprofile* характеризуется высокой востребованностью среди пользователей, нуждающихся в оперативном доступе к основным регистрационным и идентификационным данным о хозяйствующих субъектах.

Результаты исследования представлены в табл. 1.

Исследование выявило значительную вариативность в подходах к агрегации данных. СПАРК и Контур.Фокус демонстрируют наиболее комплексный подход с интеграцией множественных источников, в то время как «Прозрачный бизнес» фокусируется на качестве за счет использования первичных источников ФНС. Выявлен классический компромисс: платформы с широким охватом источников (СПАРК, Контур.Фокус) предоставляют больше данных, но потенциально снижают достоверность, в то время как «Прозрачный бизнес» обеспечивает максимальную достоверность при ограниченном объеме информации. Российский рынок информационно-аналитических систем демонстрирует высокую степень зрелости с внедрением передовых технологий (предиктивная аналитика, машинное обучение, графовый анализ). Каждая платформа имеет свою нишу: СПАРК – для международной аналитики, Контур.Фокус – для комплексного анализа связей, «Прозрачный бизнес» – для получения официальных данных. Для максимально эффективной проверки контрагентов рекомендуется использование несколь-

Таблица 1. Результаты исследования информационно-аналитических платформ проверки контрагентов

Параметры сравнения	СПАРК	Контур.Фокус	Прозрачный бизнес	Rusprofile	Глобас
Количество источников (данные)	30+ официальных государственных источников	30+ специализированных баз данных	15+ официальных государственных источников	30+ официальных баз данных	Общедоступные и проприетарные базы
Географический охват	РФ + зарубежные юрисдикции	РФ + зарубежные юрисдикции	Только РФ	Только РФ	РФ + зарубежные юрисдикции
Типы субъектов	Юридические лица, индивидуальные предприниматели (ИП)	Юридические лица, ИП и физические лица	Юридические лица, ИП	ИП, юридические и физические лица	Юридические лица, ИП и физические лица
Типы субъектов	Юридические лица, ИП	Юридические лица, ИП и физические лица	Юридические лица, ИП	ИП, юридические и физические лица	Юридические лица, ИП и физические лица
Специальные возможности	Данные о платежной дисциплине	Сведения из онлайн-касс	Сравнение документов между собой (онлайн)	Технические решения для работы с <i>OPEN DATA</i>	Модуль – Санкционный комплаенс
Преимущества	Обширная база данных по компаниям	Широкий функционал анализа связей	Бесплатная доступность публичных данных	Постоянное обновление информации	Мгновенные отчеты о финансовых рисках

ких платформ в зависимости от специфических задач и требований к достоверности данных.

На основе полученных данных были разработаны критерии для разработки новой системы оценки контрагентов.

1. Основные функциональные критерии: полнота данных, покрытие всех типов субъектов (юр. лица, ИП, физ. лица); глобальный географический охват.

2. Качество аналитики: система скоринга рисков в реальном времени; предиктивная аналитика на базе машинного обучения; автоматическое выявление связанных лиц и структур.

3. Технологические возможности: *API* для интеграции с корпоративными системами; мобильное приложение; облачная архитектура с высокой доступностью.

4. Производительность: время формирования отчета не более 30 секунд; обновление данных в режиме реального времени; доступность системы 99,9 %.

5. Пользовательский опыт: интуитивно понятный интерфейс; многоязычная поддержка.

6. Комплаенс и безопасность: встроенный санкционный скрининг; соответствие требованиям *GDPR* и 152-ФЗ; аудиторский след всех операций.

7. Экономическая эффективность: гибкая тарифная сетка; *ROI*-калькулятор для оценки эффективности; бесплатный базовый функционал.

8. Интеллектуальная аналитика: анализ репутации в социальных сетях и средствах массовой информации (**СМИ**); оценка *ESG*-рисков; мониторинг изменений в режиме 24/7.

Новая система должна стать единой экосистемой, объединяющей лучшие практики существующих решений и добавляющей инновационные возможности для комплексной оценки контрагентов.

Заключение

Проведенный анализ подтверждает лидирующую позицию системы СПАРК на рынке информационно-аналитических сервисов для

проверки контрагентов. Ее преимущества особенно ощутимы для крупных организаций с высокими требованиями к качеству данных и аналитическим возможностям. Контур.Фокус представляет собой сбалансированное решение с оптимальным соотношением функциональности и стоимости, что делает его привлекательным для среднего бизнеса. Государственный сервис «Прозрачный бизнес» может служить дополнительным источником официальной информации, но не заменяет коммерческие системы по функциональным возможностям. *Rusprofile* эффективен для первичного скрининга контрагентов и получения базовой информации без существенных затрат. Система Глобас может быть рекомендована компаниям, нуждающимся в углубленном анализе зарубежных контрагентов и специализированных отраслевых данных. Выбор конкретной системы должен определяться масштабом бизнеса, спецификой отрасли, бюджетом и внутренними политиками по управлению рисками. Оптимальной стратегией может быть комбиниро-

ванное использование нескольких систем для получения наиболее полной картины о потенциальных партнерах.

По мнению авторов, в ближайшем будущем ожидается дальнейшее развитие функционала систем проверки контрагентов в направлении:

- внедрения технологий искусственного интеллекта для предиктивного анализа рисков;
- углубления международной интеграции данных;
- расширения возможностей автоматизации комплаенс-процедур;
- развития мобильных решений для оперативной проверки;
- персонализации аналитических продуктов под потребности конкретных отраслей.

Своевременное внедрение современных инструментов оценки благонадежности контрагентов становится не просто конкурентным преимуществом, но и необходимым элементом системы риск-менеджмента для российских компаний всех уровней.

Список литературы

1. Письмо ФНС России от 10.03.2021 №БВ-4-7/3060 «О практике применения статьи 54.1 Налогового кодекса Российской Федерации».
2. Hnylytska, L. Optimization of Information Analytical Support for Assessing the Reliability of Counterparties from the Standpoint of Economic Security / L. Hnylytska [et al.] // TEM Journal. – 2021. – Vol. 10. – No. 1.
3. Koltays, A. Mathematical model for choosing counterparty when assessing information security risks / A. Koltays, A. Konev, A. Shelupanov // Risks. – 2021. – Vol. 9. – No. 7. – P. 133.
4. Selezneva, E.Y. Reliability Assessment of Counteragent in Electronic Cooperation Channels / E.Y. Selezneva, S.Y. Rakutko, N.V. Belik // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 272. – No. 3. – P. 032200.
5. Rusprofile – сервис проверки и анализа контрагентов // Rusprofile.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.rusprofile.ru>.
6. Информационно-аналитическая система Глобас [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://globas.credinform.ru/ru-RU>.
7. Сетевое издание Информационный ресурс СПАРК. Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС 77 – 67950 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 21.12.2016 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://spark-interfax.ru/>.
8. СКБ Контур [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://focus.kontur.ru>.
9. Электронный сервис «Прозрачный бизнес» [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://pb.nalog.ru>.
10. Deloitte and Touche CIS [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www2.deloitte.com>.

References

1. Pis'mo FNS Rossii ot 10.03.2021 №BV-4-7/3060 «O praktike primeneniya stat'i 54.1 Nalogovogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii».

5. Rusprofile – servis proverki i analiza kontragentov // Rusprofile.ru [Electronic resource] – Access mode : <https://www.rusprofile.ru>.
 6. Informatsionno-analiticheskaya sistema Globas [Electronic resource] – Access mode : <https://globas.credinform.ru/ru-RU>.
 7. Setevoye izdaniye Informatsionnyy resurs SPARK. Svidetel'stvo o registratsii SMI EL № FS 77 – 67950 vydano Federal'noy sluzhboy po nadzoru v sfere svyazi, informatsionnykh tekhnologiy i massovykh kommunikatsiy (Roskomnadzor) 21.12.2016 [Electronic resource] – Access mode : <https://spark-interfax.ru/>.
 8. SKB Kontur [Electronic resource] – Access mode : <https://focus.kontur.ru>.
 9. Elektronnyy servis «Prozrachnyy biznes» [Electronic resource] – Access mode : <https://pb.nalog.ru>.
 10. Deloitte and Touche CIS [Electronic resource] – Access mode : <https://www2.deloitte.com>.
-

© И.В. Ураков, И.А. Коростелкина, 2025

УДК 664.7

*А.А. РЕБРОВ, К.П. КОЛОТЫРИН**ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов*

МОТИВАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО СЕКТОРА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПО ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНА В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Ключевые слова: делегирование управления; инвестиции; риски; стимулирование; эффективность.

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы государственного участия в инвестиционных проектах по глубокой переработке зерна. Цель статьи заключается в обзоре преимуществ государственного участия в инвестиционных проектах по глубокой переработке зерна в рамках государственно-частного партнерства с целью мотивации максимального вовлечения государственного сектора экономики в проекты данного типа. Задачи исследования связаны с обоснованием эффективности вовлечения государственного партнера в инвестиционные проекты по глубокой переработке зерна. Основная гипотеза исследования связана с предположением о том, что при участии государственного партнера в инвестиционных проектах по глубокой переработке зерна в разных формах достигаются экономические, социальные, а также бюджетные эффекты. Для изучения поставленных задач использовались исторический, балансовый и монографический методы исследования. Результаты работы показали, что при участии государственного партнера в реализации инвестиционных проектов по глубокой переработке зерна повысится инвестиционная привлекательность данных проектов, увеличатся налоговые поступления, снизится импорт и увеличится экспорт продукции, получаемой от глубокой переработки зерна.

В настоящее время глубокая переработка зерна является перспективным направлением

агропромышленного комплекса России, которое способно обеспечить достаточно высокую добавленную стоимость и снижение зависимости от экспорта сырья, а также повысить конкурентоспособность отечественного производителя на зарубежных рынках. Дальнейшее развитие отраслей сельского хозяйства в РФ позволяет утверждать, что спрос на продукцию от глубокой переработки зерна будет только возрастать.

Следует отметить, что реализация данных проектов требует достаточно высоких значительных капиталовложений и связана с высоким уровнем рисков, в числе которых финансовые, кадровые, природно-климатические и др. В этой связи в качестве эффективного инструмента снижения представленных выше рисков выступает государственно-частное партнерство, позволяющее на основе различных механизмов государственной поддержки повысить эффективность реализации проектов по глубокой переработке зерна [1].

Достаточно высокий уровень трудовых ресурсов и большое количество научных организаций также будут способствовать развитию проектов по глубокой переработке зерна в соответствующих регионах [2].

Основными формами государственно-частного партнерства в данном случае будут субсидирование, налоговые льготы, делегирование управления, форвардные контракты и т.д. [3].

Тем не менее при привлечении государственных партнеров к инвестиционным проектам по глубокой переработке зерна необходимо показать эффективность участия для государственного сектора и мотивировать органы государственного управления к максимальному во-



Рис. 1. Стимулы государственного участия при реализации проектов по глубокой переработке зерна в рамках государственно-частного партнерства

влечению в данные проекты [4; 5].

На наш взгляд, мотивация государства при реализации проектов государственно-частного партнерства (ГЧП) в сфере глубокой переработки зерна выражается в следующих ключевых аспектах, представленных на рис. 1.

Как видно из рисунка, экономические выгоды государства от участия в проектах по глубокой переработке зерна на основе государственно-частного партнерства будут выражаться в налоговых поступлениях, снижении цены на дефицитную продукцию, снижении зависимости от зарубежных поставщиков.

Социальные и стратегические интересы связаны с увеличением рабочих мест и созданием инновационных производств на территории страны. Возможность выхода на зарубежные рынки с экспортом высокомаржинальной продукции позволит обеспечить стратегические интересы государства.

Интересы государства в области научно-технологического развития могут быть связаны с увеличением наукоемких производств и созданием наукоемких кластеров в исследуемой сфере.

Основные количественные показатели экономической выгоды для государства от реализации проектов по глубокой переработке зерна в размере при объеме переработки зерна 100 тыс. тонн в год представлены в табл. 1.

Социальная и экологическая эффективность от государственного участия в проектах по глубокой переработке зерна будет выражаться в виде создания дополнительных рабочих мест, включая высокотехнологичные, в количестве не менее 450 человек, не считая смежные отрасли и логистические структуры, научные и образовательные организации. Экологическая эффективность будет достигаться за счет сокращения образования и складирования от-

Таблица 1. Показатели экономической выгоды для государства от реализации проектов по глубокой переработке зерна в рамках ГЧП

Показатели	Числовые значения (млн руб./год)
Налог на добавленную стоимость (НДС)	750,0
Налог на прибыль (25 %)	275,0
Экспортные таможенные пошлины	200,0
Итого налоговых поступлений	1 225,0
Экономия от импорта аминокислот	300,0
Экономия от импорта биоэтанола	500,0
Итого	800,0

ходов, а также экономии на рекультивационных мероприятиях не менее 50 млн рублей в год.

Таким образом, выгода государства от участия в проектах по глубокой переработке зерна в рамках государственно-частного партнерства весьма очевидна. В частности, экономический эффект будет достигаться за счет налоговых поступлений и экономии от импорта аналогичной продукции, стратегическая эффективность будет достигнута за счет создания высокотех-

нологичных производств, развития сельских территорий, а также снижения зависимости от импортных поставок аналогичной продукции, что в конечном итоге позволит обеспечить продовольственную безопасность страны.

В результате государственные интересы от участия проектов по глубокой переработке зерна в рамках ГЧП будут выражаться в долгосрочных выгодах в виде макроэкономических и социальных и экологических эффектов.

Список литературы

1. Колотырин К.П. Проблемы внедрения научных разработок на предприятиях АПК и пути их решения / К.П. Колотырин, К.А. Петров, Е.В. Бородастова // Глобальный научный потенциал. – 2024. – Т. 1. – № 11(164). – С. 214–218.
2. Воротников, И.Л. Реализация инвестиционных проектов по глубокой переработке зерна на основе государственно-частного партнерства / И.Л. Воротников, К.П. Колотырин, О.В. Власова, А.А. Ребров // Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 1(150). – С. 810–815.
3. Михайлушкин, П.В. Экономическая эффективность глубокой переработки зерна (на примере ООО «Каргилл») / П.В. Михайлушкин, Л.Е. Попок // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 1. – С. 40–47.
4. Сердюкова, Л.О. Перспективы развития проектов по глубокой переработке зерна (на примере Саратовской области) / Л.О. Сердюкова, К.П. Колотырин, А.А. Ребров // Инновационная деятельность. – 2023. – № 4(67). – С. 33–45.
5. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0 : докл. к XXI Агр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. / Н.В. Орлова, Е.В. Серова, Д.В. Николаев и др. ; под ред. Н.В. Орловой ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. – 128 с.

References

1. Kolotyryin K.P. Problemy vnedreniya nauchnykh razrabotok na predpriyatiyakh APK i puti ikh resheniya / K.P. Kolotyryin, K.A. Petrov, Ye.V. Borodastova // Global'nyy nauchnyy potentsial. – 2024. – Т. 1. – № 11(164). – С. 214–218.
2. Vorotnikov, I.L. Realizatsiya investitsionnykh proyektov po glubokoy pererabotke zerna

na osnove gosudarstvenno-chastnogo partnerstva / I.L. Vorotnikov, K.P. Kolotyryn, O.V. Vlasova, A.A. Rebrov // *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. – 2023. – № 1(150). – S. 810–815.

3. Mikhaylushkin, P.V. Ekonomicheskaya effektivnost' glubokoy pererabotki zerna (na primere OOO «Kargill») / P.V. Mikhaylushkin, L.Ye. Popok // *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. – 2021. – № 1. – S. 40–47.

4. Serdyukova, L.O. Perspektivy razvitiya proyektov po glubokoy pererabotke zerna (na primere Saratovskoy oblasti) / L.O. Serdyukova, K.P. Kolotyryn, A.A. Rebrov // *Innovatsionnaya deyatel'nost'*. – 2023. – № 4(67). – S. 33–45.

5. Innovatsionnoye razvitiye agropromyshlennogo kompleksa v Rossii. Agriculture 4.0 : dokl. k XXI Apr. mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva, Moskva, 2020 g. / N.V. Orlova, Ye.V. Serova, D.V. Nikolayev i dr. ; pod red. N.V. Orlovoy ; Nats. issled. un-t «Vysshaya shkola ekonomiki». – M. : Izd. dom Vyshey shkoly ekonomiki, 2020. – 128 s.

© А.А. Ребров, К.П. Колотырин, 2025

УДК 338.486

Т.Н. ЯКУБОВА, А.А. ПЛЮЩЕВ

ФГБОУ ВО «Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы», г. Москва

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ КУРОРТОВ ЕГИПТА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРОДВИЖЕНИЯ СРЕДИ ТУРИСТОВ ИЗ РФ

Ключевые слова: проблемы развития средиземноморских курортов; развитие туризма; туризм в Египте; факторы, препятствующие развитию туризма в Египте.

Аннотация. В период активного развития туризма каждая страна старается максимально использовать имеющиеся туристические ресурсы на своей территории в борьбе за привлечение новых зарубежных потребителей-туристов. Поэтому государство, совместно с местными представителями туристической индустрии, должно развивать новые направления внутри страны, разрабатывать и предлагать новые виды отдыха, и Арабская Республика Египет здесь не исключение. Продвижение новых средиземноморских курортов Республики позволит увеличить поступление денежных средств в экономику, создать новые рабочие места, увеличить доходы населения и поступление иностранной валюты в экономику страны. Гипотеза данного исследования заключается в том, что в ближайшее десятилетие Египет сможет предложить иностранным туристам новые средиземноморские курорты, при условии устранения выявленных авторами факторов, препятствующих их активному развитию. Целью исследования является выявление факторов, оказывающих негативное воздействие на развитие и продвижение Средиземноморских Курортов Египта среди зарубежных туристов, в том числе и российских, а также разработка практических мер, направленных на их устранение.

В рамках работы авторами поставлены следующие задачи: выявить факторы, препятствующие продвижению новых Средиземноморских курортов Египта среди зарубежных туристов; разработать план действий по совершенствованию комплекса продвижения Средиземноморских курортов среди иностранных туристов;

провести оценку перспектив развития курортов Средиземноморского Побережья Египта. В ходе исследования авторами были использованы такие методы как изучение, обобщение, анализ и синтез. В результате проведенного авторами исследования были достигнуты такие результаты как: выявлены факторы, препятствующие продвижению новых Средиземноморских курортов Египта среди зарубежных туристов; разработан план действий по совершенствованию комплекса их продвижения среди иностранных туристов; проведена оценка перспектив развития курортов Средиземноморского Побережья Египта.

В настоящее время Египет является одним из привлекательных и доступных туристических направлений. Курорты на Красном море, такие как Шарм-Эль-Шейх и Хургада, пользуются огромной популярностью среди посетителей из Восточной Европы и стран СНГ. Египет всегда был востребованным направлением среди российских туристов, за исключением периода с 2015 по 2021 гг. [1]. Это привело к потере доступного направления для осеннего и весеннего отдыха, а авиакомпании и отели столкнулись с уменьшением трафика. В 2020 г. авиасообщение между двумя столицами было снова прекращено из-за пандемии. Это нанесло серьезный удар по отельному бизнесу Египта, в результате чего множество отелей были закрыты и до сих пор остаются заброшенными. Прямое авиасообщение между российскими городами и Шарм-Эль-Шейхом, а также Хургадой было возобновлено только летом 2021 г. Несмотря на то, что на данном направлении сейчас работает шесть авиакомпаний, и рейсы летают каждый день из разных городов России, пока так и не удалось достичь уровня популярности, который Египет имел до 2015 г.



Рис. 1. Основные причины, тормозящие развитие средиземноморских курортов Египта

Египет долгое время был основным направлением для отдыха российских туристов осенью и весной. В период закрытия Египта туристы пытались найти альтернативные страны для отдыха на Красном море, однако города Акаба в Иордании и Эйлат в Израиле не могли полностью удовлетворить потребности российского рынка из-за ограниченности береговой линии. Вместо курортов на Красном море многие туристы предпочли отдых в Индии, Таиланде, ОАЭ и Вьетнаме.

Египетским властям не удалось полностью компенсировать упадок российского туристического потока привлечением туристов из Европы и Ближнего Востока. Категория путешественников в России, которая может себе позволить поездки за границу в настоящее время, предпочитает более дорогие курорты с высоким уровнем сервиса.

В результате сокращения количества летних направлений, включая Грецию, Кипр, Италию, Испанию, Черногорию, Хорватию и Болгарию, Турция и Черноморские курорты России теперь остались вне конкуренции. В 2025 г. ожидается возвращение Туниса на российский рынок (имеет доступ к Средиземному морю, сезон здесь длится дольше, чем в Турции), однако стоимость авиаперелета остается высокой, что делает данное направление для российских туристов менее привлекательным в настоящее время [2]. Напомним, что ранее Тунис был популярным направлением среди российских туристов до 2015 г., когда произошел теракт в одном из отелей. Известно, что в 2014 г. турпоток в страну из России составлял 300 тысяч человек [3].

В сложившихся условиях именно Египет

смог бы стать отличной альтернативой для российского туриста, предпочитающего курорты средиземноморья. Однако, в настоящий момент республика Египет известна именно своими курортами на Красном море и не все туристы обращают внимание на то, что Египет также имеет выход к Средиземному морю. Протяженность береговой линии Египта на Средиземном море примерно такая же, как и на Красном море. Однако, в отличие от европейских стран, которые используют любой пляж вдоль побережья для строительства курортов, Египет использует только 5 % своей территории в туристических целях.

Страна имеет привлекательную береговую линию на Средиземном море. Здесь нет высоких гор, а все города связаны автомобильными и железнодорожными дорогами. Вода в море здесь голубого цвета и на фотографиях больше напоминает пляжи Индийского океана, чем Средиземного моря. Здесь нет акул, в отличие от Красного моря, но также отсутствует большее разнообразие рыб, которое привлекает дайверов. Большим плюсом Средиземноморского побережья Египта является то, что практически везде есть песчаные пляжи.

Египет стремится развивать свои курорты на Средиземном море, но на данный момент они пользуются популярностью в основном у жителей Египта и стран Персидского залива.

Анализируя сложившуюся ситуацию, можно выделить три основные причины, которые на данный момент не позволяют средиземноморским курортам Египта набрать популярность у зарубежных туристов, в частности и из РФ (рис. 1).

1. Отсутствие информации и правильного

позиционирования Средиземноморских курортов Египта. В основном, страна ассоциируется туристами с отдыхом на Красном море и уникальными возможностями, которые предлагает данное направление. При продвижении туристических мест, маркетологи обычно делают акцент на особенности каждого направления, чтобы привлечь туристов. Для решения этой проблемы можно предложить более четкое их позиционирование как отдельного туристического направления, привлекая внимание к другим достопримечательностям (кроме Пирамид), песчаным пляжам и атмосфере Средиземноморья. Такой продукт будет конкурировать с турецкими, российскими курортами и в перспективе может стать популярным направлением для туристов, даже сравнимым с курортами Туниса.

2. Транспортная инфраструктура, которая представляет собой уникальное сочетание городов, расположенных вдоль берегов реки Нил, и городов на берегу Красного и Средиземного морей. Один из наиболее крупных городов на берегу Средиземного моря - Александрия, является исторически значимым местом. Аэропорт Александрии принимает рейсы из стран Персидского залива, что объясняет его популярность среди арабских туристов. Рейсы из России в Александрию отсутствуют.

На берегу Средиземного моря, помимо аэропорта Александрии, находятся два небольших аэропорта – *El Alamein* и *Marsa Matruh*, которые также являются названиями курортов. Летом 2025 г. на эти курорты будут выполняться регулярные рейсы из Праги, городов Италии и городов Персидского Залива [4].

Эти курорты обладают прекрасной транспортной доступностью, поскольку время трансфера от аэропорта до отелей составляет всего 20–25 минут. В самой Александрии находится порт, куда летом приходит круизный лайнер из Сочи с российскими туристами, большинство из которых знакомы с отдыхом на Средиземном море в Египте и приезжают именно в Александрию, но даже и они не знают о таких курортах, как *El Alamein* и *Marsa Matruh*. Однако это связано скорее с первой проблемой, выявленной авторами выше, а именно их позиционированием.

Итак, открытие прямых авиасообщений с местными аэропортами или хотя бы с Александрией будет выдвигать Египет на новый уровень в увеличении туристического потока.

3. Туристическая инфраструктура. Одна из проблем, с которой сталкиваются российские туристы, заключается в том, что на данный момент курорты *El Alamein* и *Marsa Matruh* не предлагают систему «Все Включено», номерной фонд состоит, в большинстве, из больших семейных номеров. Однако для российских туристов, которые, как правило, путешествуют в парах или семьями до четырех человек, такие большие номера часто не подходят для бронирования.

Другим недостатком является то, по отзывам на *Booking.com*, основной жалобой туристов является ограниченность мест для прогулок вокруг отеля и сложности самостоятельно добраться до города. Выбор ресторанов, парков аттракционов и торговых центров также ограничен.

Анализируя данные факторы, можно сделать вывод, что курорты *El Alamein* и *Marsa Matruh* в настоящий момент находятся на стадии формирования и имеют огромный потенциал для привлечения туристов из РФ. Продолжительность купального сезона здесь значительно превосходит Турцию, а цены на отдых значительно ниже по сравнению с данной страной. Благодаря пологому берегу и отсутствию скалистых участков, эти курорты идеально подходят для строительства отелей с собственными песчаными пляжами. Если обратить внимание на развитие курорта *Marsa Matruh*, можно заметить марину с большим количеством зелени, песчаными пляжами и потрясающей инфраструктурой, которая напоминает острова пальмы в ОАЭ. Таким образом, Египет стремится достичь уровня Дубая.

При правильном позиционировании и организации процесса продвижения средиземноморских курортов Египта среди зарубежных туристов, в том числе и из РФ, Эль-Аламейн и Марса-Матрух могут стать одними из ведущих туристических центров на Средиземном море в течение следующего десятилетия [5]. При условии реализации стратегических инвестиций в развитие гостиничного сектора, транспортной доступности, развлекательной инфраструктуры и создание уникальных туристических продуктов, эти курорты могут выгодно отличаться от уже существующих предложений на Средиземном море.

Ключевым фактором успеха является ориентация на туристов из Восточной Европы, стран СНГ и, в первую очередь, России. Ана-

лиз туристического рынка показывает устойчивый спрос со стороны российских туристов на отдых на Средиземном море. Курорты Эль-Аламейн и Марса-Матрух, благодаря своему географическому положению и потенциалу для создания высококачественного туристического продукта, обладают значительными конкурент-

ными преимуществами для привлечения этой целевой аудитории. Предполагается высокий уровень конверсии потенциального спроса в реальные бронирования, обусловленный накопленным спросом и готовностью российских туристов приобретать путевки при наличии достойных предложений.

Список литературы

1. Egypt plans to build new city on Mediterranean coast – and it's twice the size of Barcelona [Electronic resource]. – Access mode : <https://independent.co.uk/travel/news-and-advice/egypt-new-megacity-b2625855.html>.
2. Число россиян, посещающих Тунис, вырастет на 20 % к концу года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ria.ru/20140902/1022405271.html>.
3. История приостановки авиасообщения с Египтом [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tass.ru/info/12084039>.
4. Egypt Tourism Revenue Growth [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.ceicdata.com/en/indicator/egypt/tourism-revenue-growth>.
5. Etihad Airways – Бронирование авиабилетов [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.etihad.com/ru>.
6. Flydubai [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.flydubai.com/en-ru>.
7. Egypt unveils \$21bn tourist complex on Mediterranean coast [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.globalconstructionreview.com/egypt-unveils-21bn-tourist-complex-on-mediterranean-coast>.
8. Из России полетят самолеты в Тунис: что надо знать о ценах, перелете и стране [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.kp.ru/daily/27661.5/5049653>.
9. Smartwings – авиабилеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.smartwings.com/ru>.

References

2. Chislo rossiyan, poseshchayushchikh Tunis, vyrastet na 20 % k kontsu goda [Electronic resource]. – Access mode : <https://ria.ru/20140902/1022405271.html>.
3. Istoriya priostanovki aviasoobshcheniya s Yegiptom [Electronic resource]. – Access mode : <https://tass.ru/info/12084039>.
7. Egypt unveils \$21bn tourist complex on Mediterranean coast [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.globalconstructionreview.com/egypt-unveils-21bn-tourist-complex-on-mediterranean-coast>.
8. Iz Rossii poletyat samolety v Tunis: chto nado znat' o tsenakh, perelete i strane [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.kp.ru/daily/27661.5/5049653>.
9. Smartwings – aviability [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.smartwings.com/ru>.

© Т.Н. Якубова, А.А. Плющев, 2025

НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ
SCIENCE AND BUSINESS: DEVELOPMENT WAYS
№ 5(167) 2025
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 23.05.2025 г.

Формат журнала 60×84/8

Усл. печ. л. 29,8. Уч.-изд. л. 11,25.

Тираж 1000 экз.