

ISSN 2221-5182

Импакт-фактор РИНЦ: 0,485

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

№ 3(165) 2025

В ЭТОМ НОМЕРЕ:

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

МАШИНОСТРОЕНИЕ:

– Машины, агрегаты и технологические процессы

– Роботы, мехатроника и робототехнические системы

– Технология машиностроения

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

– Математическое моделирование и численные методы

– Информационная безопасность

– Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ:

– Управление качеством продукции.

Стандартизация. Организация производства

– Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

– Региональная и отраслевая экономика

– Мировая экономика

– Менеджмент

Москва 2025

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

Журнал

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

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

Учредитель

МОО «Фонд развития науки и
культуры»

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

Главный редактор

Е.Е. Тарандо

Выпускающий редактор

В.С. Солодова

Редактор иностранного
перевода

Н.А. Гунина

Инженер по компьютерному
макетированию

В.С. Солодова

Адрес редакции:

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

Телефон:

89156788844

E-mail:

nauka-bisnes@mail.ru

На сайте

<http://globaljournals.ru>

размещена полнотекстовая
версия журнала.

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

Перепечатка статей возможна только
с разрешения редакции.

Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов.

Экспертный совет журнала

Тарандо Елена Евгеньевна – д.э.н., профессор кафедры 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.

Запивалов 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

Баширов М.Г., Прокоп Г.С., Крышко А.С. Совершенствование учебно-исследовательского комплекса с применением генетического алгоритма.....	10
Баширова Э.М., Надыргулов И.У., Минибаев В.Э., Серебряков А.А. Разработка системы распознавания образов для удаленного доступа электроподстанции.....	14
Бычкова Т.В., Погonyшев В.А., Погonyшева Д.А., Мокшин И.А. Математическое моделирование колебательных процессов для покрытий, нанесенных методом ФАБО	19
Гончарова А.Б., Колпак Е.П., Гасратова Н.А. Нелинейная диффузия популяции.....	24
Зайцева И.В., Бондарь В.В., Никулина О.Н. Нахождение компромиссной ситуации торгов в разных сферах экономики.....	30
Пальмов С.В., Демидов Н.А. Прогнозирование временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей: разработка модели на основе данных о стоимости акций	34
Пальмов С.В., Янгазов И.С., Забалканский Д.Д. Сравнительный анализ алгоритмов нахождения кратчайшего пути.....	37
Салдаева А.А., Белаш В.Ю. О разработке чат-бота для образовательной платформы.....	41
Тарасов О.М. Оптимизированный многокритериальный выбор альтернативы по ряду независимых показателей	45

Информационная безопасность

Жаров И.С., Денисенко О.И., Зюганова С.Р. К вопросу о применении технических средств при работе специалистов-кинологов в учреждениях ФСИН России и подразделениях МВД России	53
Шипулин Г.Ф., Яковлева В.Д., Потапова Д.А., Ватулин И.Г. Анализ эффективности совместного применения алгоритмов блочного шифрования и кодов исправления ошибок с целью повышения надежности передачи данных.....	57

Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

Лысый С.П., Снежкина О.В., Шведова В.С. Разработка 3-D моделей изделий на занятиях по инженерной и компьютерной графике	61
--	----

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Машины, агрегаты и технологические процессы

- Хисамов Н.А., Баширов М.Г., Недельченко О.И.** Диагностика центробежного насосно-компрессорного оборудования с частотно-регулируемым электроприводом 65

Роботы, мехатроника и робототехнические системы

- Овсянников Л.С., Рубцов В.И.** Разработка модуля вывода команд на основе буфера с тремя состояниями 69
- Фомашин И.С., Рубцов В.И.** Планирование траектории БПЛА при осмотре строительных объектов 76

Технология машиностроения

- Брижинская Н.В., Романов Р.В., Вотяков К.А., Назаров В.П.** Использование цифровых двойников в изготовлении трубопроводов сложной пространственной формы в производстве двигателей летательных аппаратов 83
- Хрусталева И.Н., Черных Л.Г., Уварова О.Д., Бровкина Я.Ю.** Модель многокритериальной оптимизации структуры и параметров технологического перехода 89
- Цечоева А.Х.** Модернизация технологии обработки материалов в технологическом процессе 98

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

- Баширова Э.М., Драцкий В.О., Муртазина А.И.** Разработка метода диагностики напряженно-деформированного состояния металлических конструкций на основе анализа электромагнитно-акустических сигналов 102
- Ганшкевич А.Ю., Розов В.В., Черняк О.А.** Подходы к прогнозированию технического состояния подъемных сооружений на основе мониторинга 106
- Заболотный Д.А., Хусаинова К.А., Закурдаев В.В., Щербаков А.С.** Модернизация системы автоматического управления центробежного компрессора узла сжатия атмосферного воздуха с целью повышения уровня техносферной безопасности 112
- Фадеев Ф.О., Ганшкевич А.Ю., Стоянцов Н.М.** Методы оценки технического состояния портовой инфраструктуры в условиях цифровой трансформации 118

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Белая М.Н., Бариева Е.Ф., Гаврисенко С.Л., Налбандян Э.М. Обоснование разработки процедуры калибровки весов лабораторных электронных.....	123
Бережнов Д.А., Кириллина А.А., Львова Е.И., Пестерев А.П. Анализ медицинских осмотров работников сферы водоснабжения и водоотведения на примере АО «Водоканал».	128
Князев М.Ю. Состояние и перспективы организации производства импортозамещающей продукции и цепей ее поставок на примере анализа рынка бензойной кислоты.....	135
Князев М.Ю. Исследование перспектив организации производства бензоата натрия на базе российской промышленности	141
Назаренко М.А., Назаров С.А. Методы анализа и оптимизации процессов проектирования в электронной промышленности для повышения качества продукции.....	147
Фролова Е.А., Зайцев П.С. Методика автоматизации и цифровизации предпроизводственного этапа для обеспечения качества процессов при изготовлении радиоэлектронной продукции.....	151
Хасанова Л.З., Морева И.В. Анализ рисков при организации процесса водоподготовки на предприятиях по производству оптических изделий.....	155

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Никоноров В.М. Диабет и расходы на питание.....	162
--	-----

Региональная и отраслевая экономика

Глазовская А.А., Гасратова Н.А. Оценка потенциала регионов при лечении ОРВИ.....	167
---	-----

Мировая экономика

Галямова Э.Ф., Аношин А.В., Данилин О.Е. Развитие малого и среднего бизнеса в странах Европейского Союза.....	177
Данилин О.Е., Галямова Э.Ф., Аношин А.В. Мировой рынок нефти: тенденции и перспективы.....	181

Менеджмент

Кузнецов А.И., Меньшикова И.В. Обобщенный алгоритм использования концепций и инструментов для создания инновационного решения	185
--	-----

Contents

INFORMATION TECHNOLOGY

Mathematical Modeling and Numerical Methods

Bashirov M.G., Prokop G.S., Kryshko A.S. Improvement of the Educational and Research Complex Using a Genetic Algorithm.....	10
Bashirova E.M., Nadyrgulov I.U., Minibaev V.E., Serebryakov A.A. Development of a Pattern Recognition System for Remote Access of Electrosubstation.....	14
Bychkova T.V., Pogonyshev V.A., Pogonysheva D.A., Mokshin I.A. Mathematical Modeling of Oscillatory Processes for Coatings Applied by the FABO Method	19
Goncharova A.B., Kolpak E.P., Gasratova N.A. Nonlinear Population Diffusion	24
Zaitseva I.V., Bondar V.V., Nikulina O.N. Finding a Compromise Situation of Bidding in Different Sectors of the Economy.....	30
Palmov S.V., Demidov N.A. Forecasting Time Series Using Recurrent Neural Networks: Model Development Based on Stock Price Data.....	34
Palmov S.V., Yangazov I.S., Zabalkansky D.D. A Comparative Analysis of Shortest Path Finding Algorithms	37
Saldaeva A.A., Belash V.Yu. The Development of a Chatbot for an Educational Platform.....	41
Tarasov O.M. Optimized Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Alternatives for a Number of Independent Indicators.....	45

Information Security

Zharov I.S., Denisenko O.I., Zyuganova S.R. On the Issue Using Technical Tools in the Work of Dog Handlers in Institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia and units of the Ministry of Internal Affairs of Russia	53
Shipulin G.F., Yakovleva V.D., Potapova D.A., Vatutin I.G. Analysis of the Effectiveness of the Combined Use of Block Cipher Algorithms and Error Correction Codes to Improve the Reliability of Data Transmission.....	57

Engineering Geometry and Computer Graphics. Digital Support for the Life Cycle of Products

Lysy S.P., Snezhkina O.V., Shvedova V.S. Development of 3D Product Models in Engineering and Computer Graphics Classes.....	61
--	----

MECHANICAL ENGINEERING

Machines, Units and Processes

- Khisamov N.A., Bashirov M.G., Nedelchenko O.I.** Diagnostics of Centrifugal Pumping and Compressor Equipment with Variable Frequency Electric Drive 65

Robots, Mechatronics and Robotic Systems

- Ovsiyannikov L.S., Rubtsov V.I.** Development of a Command Output Module Based on a Three-State Buffer..... 69
- Fomashin I.S., Rubtsov V.I.** Planning the Trajectory of UAV during the Inspection of Construction Sites 76

Mechanical Engineering Technology

- Brizhinskaya N.V., Romanov R.V., Votyakov K.A., Nazarov V.P.** The Use of Digital Twins in the Manufacture of Pipelines of Complex Spatial Shape in the Manufacture of Aircraft Engines. 83
- Khrustaleva I.N., Chernykh L.G., Uvarova O.D., Brovkina Ya.Yu.** A Model of Multicriteria Optimization of the Structure and Parameters of Technological Transition..... 89
- Tsechoeva A.Kh.** Modernization of Material Processing Technology in the Technological Process 98

Methods and Devices for Monitoring and Diagnostics of Materials, Products, Substances and the Natural Environment

- Bashirova E.M., Dratsky V.O., Murtazina A.I.** Development of a Method for Diagnostics of Stress-Strain State of Metal Structures Based on the Analysis of Electromagnetic-Acoustic Signals 102
- Ganshkevich A.Yu., Rozov V.V., Chernyak O.A.** Approaches to Forecasting the Technical Condition of Lifting Facilities Based on Monitoring..... 106
- Zabolotny D.A., Khusainova K.A., Zakurdaev V.V., Shcherbakov A.S.** Modernization of the Automatic Control System of the Centrifugal Compressor of the Atmospheric Air Compression Unit to Increase the Level of Technospheric Safety112
- Fadeev F.O., Gankevich A.Yu., Stoyantsov N.M.** Methods for Assessing the Technical Condition of Port Infrastructure in the Context of Digital Transformation.....118

ECONOMIC SCIENCES

Product Quality Management. Standardization. Organization of Production

- Belaya M.N., Barieva E.F., Gavrisenko S.L., Nalbandyan E.M.** Justification for the Development of a Procedure for Calibration of Laboratory Electronic Scales..... 123
- Berezhnov D.A., Kirillina A.A., Lvova E.I., Pesterev A.P.** Analysis of Medical Examinations of Employees in the Water Supply and Sewerage Sector: A Case Study of the Joint Stock Company "Vodokanal" 128
- Knyazev M.Yu.** Status and Perspectives of Organizing Import Substitute Production and Supply Chains: The Case Of Benzoic Acid Market Analysis 135
- Knyazev M.Yu.** Investigation of Prospects for Organizing Sodium Benzoate Production on the Basis of Russian Industry 141
- Nazarenko M.A., Nazarov S.A.** Application of Methods for Analyzing and Optimizing Design Processes in the Electronics Industry to Improve Product Quality 147
- Frolova E.A., Zaitsev P.S.** The methodology of Automation and Digitalization of the Pre-Production Stage to Ensure the Quality of Processes in the Manufacture of Electronic Products 151
- Khasanova L.Z., Moreva I.V.** Risk Analysis in the Organization of the Water Treatment Process at Optical Products Manufacturing Enterprises 155

Mathematical, Statistical and Instrumental Methods in Economics

- Nikonov V.M.** Diabetes and Food Costs..... 162

Regional and Sectoral Economics

- Glazovskaya A.A., Gasratova N.A.** Assessment of Regional Potential for Treating ARVI 167

World Economy

- Galyamova E.F., Anoshin A.V., Danilin O.E.** Development of Small and Medium-Sized Businesses in the European Union Countries 177
- Danilin O.E., Galyamova E.F., Anoshin A.V.** The World Oil Market: Trends and Prospects..... 181

Management

- Kuznetsov A.I., Menshikova I.V.** A Generalized Algorithm for Using Concepts and Tools to Create an Innovative Solution 185

УДК 681.5

М.Г. БАШИРОВ, Г.С. ПРОКОП, А.С. КРЫШКО

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Ключевые слова: генетический алгоритм; интеллектуальный инструмент; совершенствование технологического процесса; трубчатая печь; усовершенствованное управление.

Аннотация. Целью работы является совершенствование учебно-исследовательского комплекса, имитирующего производственный процесс. Для совершенствования комплекса применяются технологии искусственного интеллекта, а именно генетический алгоритм. Генетический алгоритм относится к интеллектуальным инструментам, развитие и применение которых является актуальной задачей. Использование учебных комплексов в науке позволяет переносить полученные результаты исследований на реальные производственные объекты. В результате разработано программное обеспечение для настройки ПИД-регулятора с применением генетического алгоритма.

В условиях интенсивного развития нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности одной из актуальных задач является повышение эффективности эксплуатации применяемого в отрасли топлива оборудования, в особенности трубчатых печей, так как затраты, связанные с ними, составляют около четверти от стоимости всей технологической установки. Трубчатые печи являются основными аппаратами технологических установок нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и основными потребителями топлива. На их долю приходится примерно 10 % газообразного и жидкого топлива от общего количества перерабатываемой нефти [1].

В эпоху цифровизации приобретают популярность учебно-исследовательские комплексы, имитирующие какие-либо объекты

нефтеперерабатывающей промышленности. Разработка подобных комплексов позволяет подробнее изучать объект, без вмешательства в реальный производственный процесс. Учебно-исследовательские комплексы, имитирующие систему автоматического управления объектом, играют важную роль в подготовке специалистов и исследовании различных аспектов управления в промышленных и технологических процессах. Эти комплексы представляют собой интегрированные платформы, объединяющие в себе аппаратные и программные средства для моделирования и анализа систем автоматического управления (САУ) в реальных условиях.

Одним из действующих учебно-исследовательских комплексов является стенд, основанный на базе продуктов фирмы «Экоресурс». В составе стенда имеется полноценная автоматическая система регулирования, которая управляет нагревательным объектом (имитация трубчатой печи) [2].

Совмещение учебно-исследовательского комплекса систем автоматического управления с возможностями управления искусственным интеллектом (ИИ) представляет собой перспективное направление, способное значительно расширить функциональные возможности комплекса и повысить его эффективность в обучении и исследованиях. Для реализации этого подхода необходимо интегрировать алгоритмы и технологии ИИ в существующие структуры САУ, что требует междисциплинарного подхода и использования передовых разработок в области вычислительных технологий.

Одним из направлений ИИ является генетический алгоритм. Генетический алгоритм в системах управления позволяет решать задачи, которые трудно поддаются аналитическому

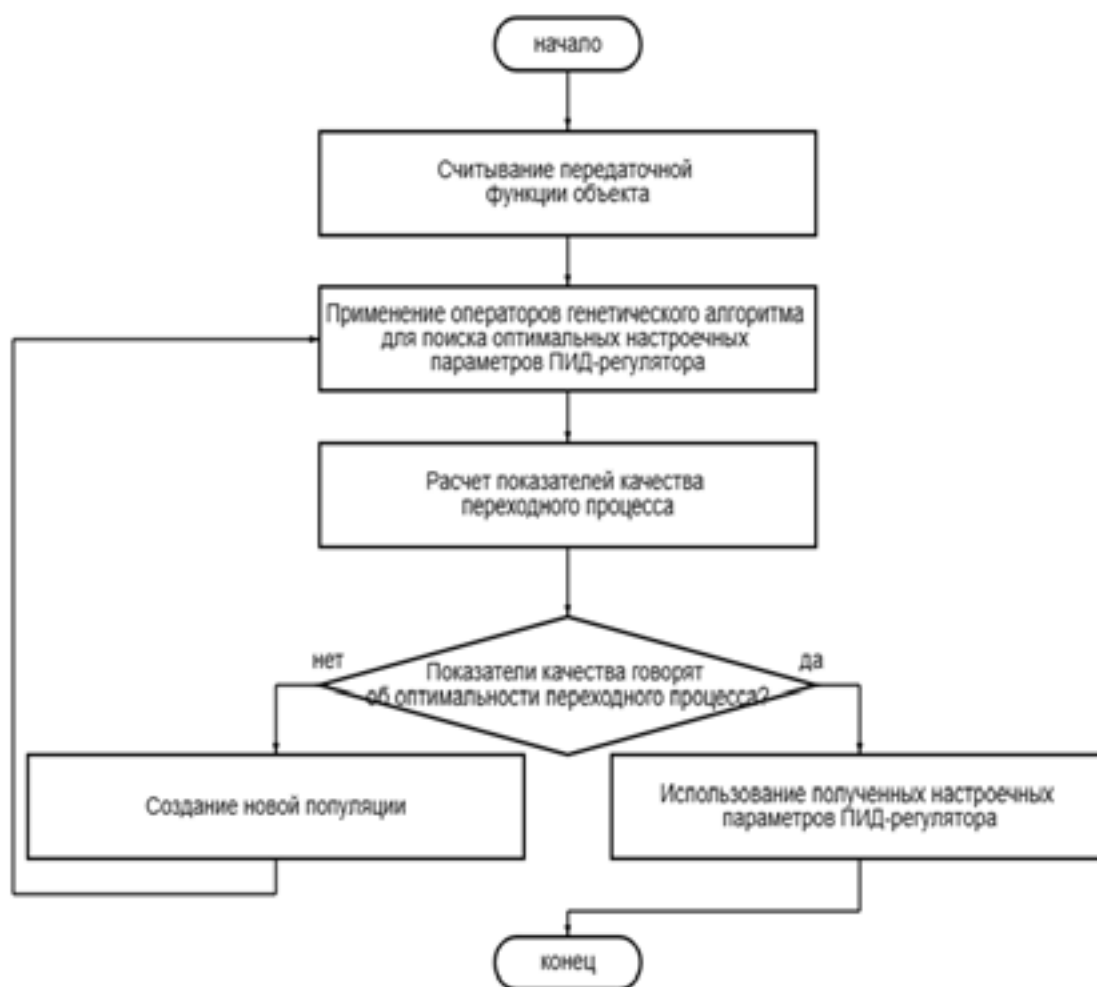


Рис. 1. Блок-схема применения генетического алгоритма по поиску коэффициентов ПИД-регулятора

подходу из-за высокой сложности, нелинейности или большого числа параметров [3]. Например, в задаче настройки ПИД-регулятора традиционные методы часто сталкиваются с трудностями при работе с многопараметрическими или нелинейными объектами. Генетический алгоритм, напротив, предоставляет универсальный подход, не требующий точной модели объекта. Он использует популяцию возможных решений, где каждое решение кодируется в виде набора параметров, представляющих коэффициенты регулятора [4]. На рис. 1 изображена блок-схема работы генетического алгоритма по поиску коэффициентов ПИД-регулятора.

Далее в исследованиях использовалось программное обеспечение *MatLab* с целью ор-

ганизации работы генетического алгоритма по поиску коэффициентов ПИД-регулятора. Структурная схема контура управления приведена на рис. 2. По данной структурной схеме необходимо разработать функциональную модель. Для моделирования переходного процесса используется среда *Simulink*. Модель строится на стандартных блоках библиотеки *Simulink* без дополнительных модулей. В программном обеспечении использовалась передаточная функция объекта управления учебно-исследовательского комплекса:

$$W(s) = 0,34 \cdot \frac{1}{5,50980 \cdot s + 1} \cdot e^{-1s}, \quad (1)$$

где e^{-1s} – запаздывание.

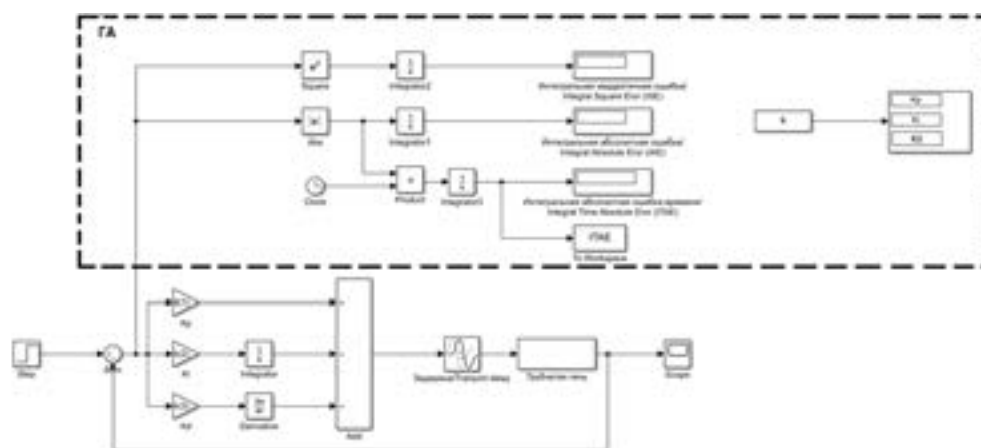
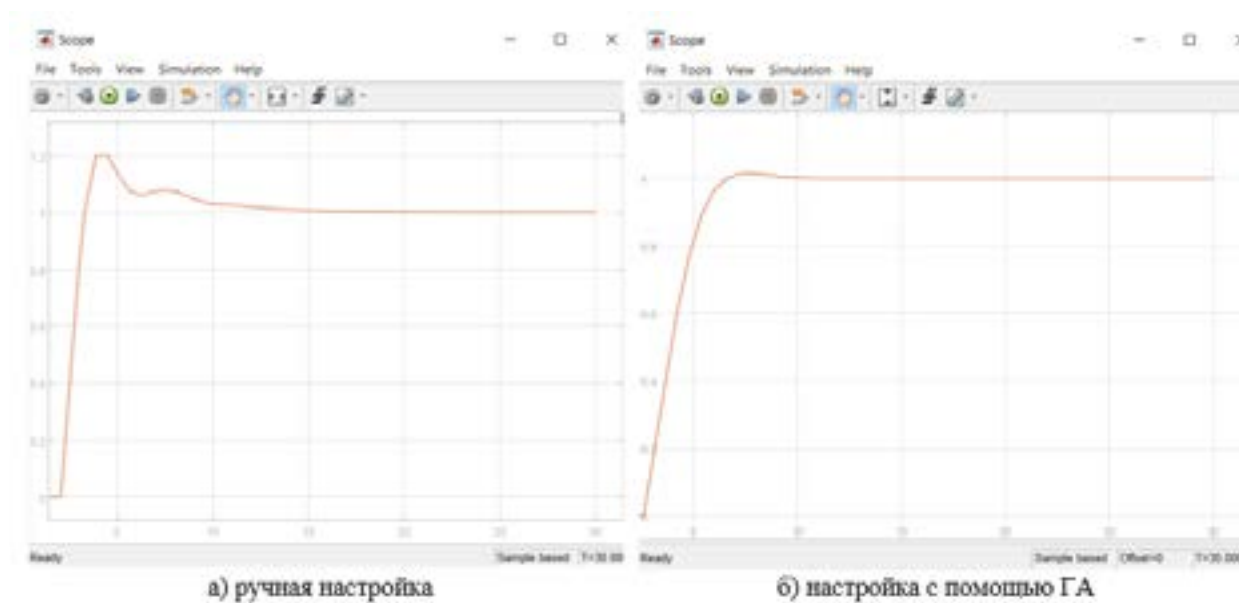
Рис. 2. Структурная схема модели *Simulink*

Рис. 3. Кривые переходных процессов

Таблица 1. Результаты, полученные при разных методах настройки

Метод настройки ПИД-регулятора	K_P	K_I	K_D	Перерегулирование σ , %	Время переходного процесса τ_c , сек
Ручная настройка	5,04	0,83	1,02	1,200	15,1
Генетический алгоритм	6,22	0,98	1,78	1,025	10,5

Данная передаточная функция описывает переходной процесс и используется в модель-

ных исследованиях *Simulink* для описания объекта – трубчатой печи.

Выполнили настройку ПИД-регулятора классическим способом и с применением генетического алгоритма (ГА), получили переходные кривые процесса регулирования и сравнили переходные кривые по критериям качества управления.

Таким образом, можно сделать вывод о работоспособности разработанного генетического алгоритма для нахождения оптимума для задачи с настройкой ПИД-регулятора. Для удобства сравнения результаты моделирования сведены в табл. 1.

Список литературы

1. Веревкин, А.П. Оптимизация управления технологическими процессами переработки нефти по показателям технико-экономической эффективности (на примере висбрекинга гудрона) / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин, Р.М. Линецкий, М.Х. Хуснияров // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 5. – С. 18–22.
2. Баширов, М.Г. Учебный имитационно-моделирующий комплекс на основе ПЛК БАЗИС-100 / М.Г. Баширов, Д.Ш. Акчурин, И.И. Костиков, К.Г. Николаев // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 9. – С. 30–35.
3. Крышко, К.А. Разработка программного обеспечения для оценки состояния катализатора гидрирования ацетилена в этан-этиленовой фракции с применением генетического алгоритма / К.А. Крышко, А.М. Газизов, М.Г. Баширов, А.С. Каргина // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 5(143). – С. 21–23.
4. Баширов, М.Г. Моделирование ПИД-регулятора с использованием генетического алгоритма / М.Г. Баширов, Г.С. Прокоп, А.С. Крышко // Интеллектуальные технологии и инновационные подходы в нефтепереработке и нефтехимии. – Салават, 2024. – С. 368–370.

References

1. Verevkin, A.P. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami pererabotki nefiti po pokazatelyam tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti (na primere visbrekinga gudrona) / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin, R.M. Linetskiy, M.KH. Khusniyarov // Territoriya «NEFTEGAZ». – 2013. – № 5. – S. 18–22.
2. Bashirov, M.G. Uchebnyy imitatsionno-modeliruyushchiy kompleks na osnove PLK BAZIS-100 / M.G. Bashirov, D.SH. Akchurin, I.I. Kostikov, K.G. Nikolayev // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2021. – № 9. – S. 30–35.
3. Kryshko, K.A. Razrabotka programmnogo obespecheniya dlya otsenki sostoyaniya katalizatora gidrirovaniya atsetilena v etan-etilenovoy fraktsii s primeneniym geneticheskogo algoritma / K.A. Kryshko, A.M. Gazizov, M.G. Bashirov, A.S. Kargina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 5(143). – С. 21–23.
4. Bashirov, M.G. Modelirovaniye PID-regulyatora s ispol'zovaniym geneticheskogo algoritma / M.G. Bashirov, G.S. Prokop, A.S. Kryshko // Intel'lektual'nyye tekhnologii i innovatsionnyye podkhody v neftepererabotke i neftekhimii. – Salavat, 2024. – S. 368–370.

© М.Г. Баширов, Г.С. Прокоп, А.С. Крышко, 2025

УДК 004.93'12

Э.М. БАШИРОВА, И.У. НАДЫРГУЛОВ, В.Э. МИНИБАЕВ, А.А. СЕРЕБРЯКОВ

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИИ

Ключевые слова: идентификация лиц; искусственный интеллект; нейронная сеть; машинное обучение; распознавание аварийных ситуаций; *FaceNet*; *MTCNN*; *Python*.

Аннотация. Целью данной работы является разработка лабораторного стенда видеонаблюдения с внедрением искусственного интеллекта для получения навыков по обучению и применению нейронных сетей при распознавании огня, дыма, электрических дуг и идентификации лиц людей.

Основные задачи исследования:

- 1) разработка цифрового двойника для учебного стенда;
- 2) обучение модели нейронной сети для распознавания аварийных ситуаций;
- 3) обучение модели нейронной сети для идентификации лиц;
- 4) анализ эффективности применения искусственного интеллекта для распознавания образов с целью внедрения данной технологии в обучающий процесс.

Гипотеза исследования заключается в том, что проведение лабораторных работ с применением искусственного интеллекта позволит повысить эффективность обучающего процесса.

Методы исследования: разработка системы в среде программирования *PyCharm* на языке *Python* с применением библиотек *PySide6*, *TensorFlow*, *MTCNN*, *FaceNet*, *Keras*, подготовка обучающих выборок, обучение моделей нейронных сетей, оценка качества распознавания моделей. В качестве инструмента для создания графического интерфейса используется *QtDesigner*. Результаты: разработаны программы для обучения нейронных сетей и запуска обученной модели для идентификации сотрудников подстанций в реальном времени и обнаружения опасных ситуаций, исследова-

на эффективность применения искусственного интеллекта для обнаружения объектов на изображении с видеокамеры. Предлагается применение системы на основе сверточной нейронной сети для проведения лабораторных работ во время учебного процесса.

Введение

Проникновение посторонних лиц или сотрудников, не имеющих наряд-допуск к выполнению данного класса работ, на удаленные электрические подстанции без постоянного оперативного персонала может привести к серьезным последствиям, таким как травмы различной степени тяжести, аварии и выход из строя дорогостоящего оборудования. Помимо всего прочего, все это крайне негативно сказывается на экономических показателях обслуживающей организации. Внедрение систем на основе нейронных сетей для повышения безопасности и удаленного контроля объектами в области электроэнергетики является одним из перспективных направлений на данный момент.

Материалы и методы исследования

Для решения проблемы несанкционированного доступа и своевременного оповещения аварий на начальных этапах предлагается внедрение искусственного интеллекта во взрывозащищенную систему видеонаблюдения. Системы распознавания лиц на основе нейронных сетей предоставляют высокую степень безопасности, так как они способны точно идентифицировать сотрудников, имеющих доступ к подстанции. Это позволяет исключить возможность несанкционированного доступа и повы-

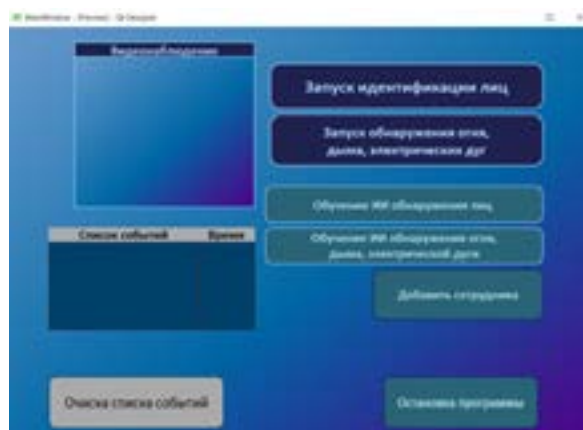


Рис. 1. Интерфейс лабораторного стенда по распознаванию огня, дыма, электрических разрядов и идентификации людей



Рис. 2. Структурная схема лабораторного стенда для удаленного контроля подстанции

силь уровень защиты объекта.

Кроме того, благодаря использованию нейронных сетей для анализа видеопотока система способна обнаруживать признаки возгорания, задымления без видимого огня или разряда электрической дуги [1]. Это позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации и предотвращать возможные аварии, что важно для обеспечения безопасности как персонала, так и оборудования.

Учебный стенд состоит из двух видеокамер, взрывозащищенного монитора для вывода изображения с видеокамеры, клеммной коробки и персонального компьютера с программным обеспечением для обнаружения с помощью нейронной сети различных чрезвычайных ситуаций и людей.

Стенд для проведения лабораторных работ позволяет студентам совершенствовать навыки по работе с нейронными сетями (рис. 1):

- обучение нейронной сети для распознавания лиц;

- обучение нейронной сети для классификации объектов (огонь, дым, электрические дуги);

- получение навыков работы с интерфейсом программного обеспечения;

- осуществление распознавания и классификации огня, дыма, электрических дуг на изображении с помощью обученной модели нейронной сети;

- идентификация лица человека с изображения камеры с помощью обученной модели нейронной сети.

Результаты идентификации лиц и обнаружения нештатных опасных ситуаций фиксируются в журнале списка событий с указанием времени.

Распознавание каждой нейронной сетью осуществляется разными видеокамерами, позволяя, например, установить первую видеокамеру для распознавания лиц на пропускном пункте или на территории объекта, а вторую – в области электроэнергетических установок,



Рис. 3. Разметка изображений огня для обучения нейронной сети

Таблица 1. Результаты точности распознавания огня в реальном времени

Номер тестового видео	Точность распознавания, %
1	61
2	84
3	75
4	68

чтобы она контролировала возникновение опасных ситуаций (рис. 2).

Распознавание огня, дыма и электрических дуг сверточной нейронной сетью *YOLOv8* осуществляется методом разбиения изображения с видеокamеры на области в виде матрицы, детекция объектов производится в несколько этапов [2]:

- построение карты вероятности на изображении для исключения с высокой достоверностью участков, не содержащих объект детекции;
- нахождение в каждой области матрицы объектов с классификацией их по обученной выборке;
- построение ограничивающей области для всех участков матрицы, которые с большой достоверностью содержат объект необходимого класса;
- объединение пересекающихся рамок с общим классом для итоговой детекции объектов.

Для контроля посещения используется нейронная сеть *MTCNN* в связке с *FaceNet*. *MTCNN* непрерывно сканирует рамкой изобра-

жение в разных масштабах для определения положения лица и формирования основных пяти точек лица для идентификации (уголки рта, нос, глаза) [3; 4].

Для распознавания с видеокamеры дыма, огня, электрической дуги подготавливается набор изображений с данными объектами и производится ручная разметка фотографий для последующего обучения модели нейронной сети (рис. 3) [5].

Обучение модели нейронной сети по распознаванию аварийных ситуаций производится в несколько итераций, количество которых можно указать перед обучением для получения наиболее корректной модели и контроля обучения распознавания (в зависимости от объема исходных данных и их качества).

Обучение нейронной сети по идентификации лиц людей осуществляется набором 30 фотографий лица человека, которые программа создает при нажатии кнопки «Добавить сотрудника» с помощью библиотек для работы с изображениями *Pillow* и *Scikit*. После создания фотографий производится обучение нейронной сети нажатием кнопки «Обучение ИИ обнару-



Рис. 4. Запуск тестового видео номер 4

жения лиц» [6].

При исследовании точности распознавания системой на четырех тестовых видео нейронная сеть *YoloV8* обнаружила огонь во всех случаях с достоверностью распознавания более 60 %, результаты детектирования представлены в табл. 1 (рис. 4). Обучение данной модели нейронной сети проводилось в 100 итераций. При распознавании людей система способна непрерывно идентифицировать лицо человека на расстоянии до трех метров и повороте головы человека относительно камеры на 45 градусов [7].

Вывод

Полученные результаты позволяют оценить эффективность применения нейронных сетей в системах распознавания образов, показывая высокую точность работы. Разработанная система распознавания образов для удаленного доступа подстанции позволяет внедрить в учебный процесс технологии с искусственным интеллектом и получить навыки по работе с машинным обучением и компьютерным зрением.

Список литературы

1. Разработка интеллектуальной системы диагностики машинных агрегатов с электрическим приводом / М.Г. Баширов, Н.А. Хисамов, Я.С. Журба, О.Г. Волкова // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 4(142). – С. 17–23.
2. Бредихин, А.И. Алгоритмы обучения сверточных нейронных сетей / А.И. Бредихин // Вестник Югорского государственного университета. – 2019. – № 1(52). – С. 41–54.
3. Иванова, Е.В. Система учета посещаемости студентов на основе распознавания лиц / Е.В. Иванова, А.Ю. Струева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2021. – Т. 10. – № 4. – С. 60–73.
4. Кравчук, М.В. Обзор задач и методов анализа графической информации в системах идентификации пользователя / М.В. Кравчук, Г.К. Олейников // Вестник Пензенского государственного университета. – 2021. – № 3(35). – С. 107–113.
5. Хусаинов, Р.М. Распознавание объектов дорожной инфраструктуры на основе нейросетевой модели YOLOv8 / Р.М. Хусаинов, Н.Г. Талипов // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27. – № 8. – С. 116–119.
6. Баширова, Э.М. Библиотеки компьютерного зрения на Python / Э.М. Баширова, А.А. Шарипов // Наука. Технология. Производство – 2023: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию ООО «Газпром нефтехим Салават», Салават, 24–28 апреля 2023 года. – Салават: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2023. – С. 234–235.

7. Нейросетевые алгоритмы распознавания лиц в системах биометрической аутентификации и видеонаблюдения / А.Д. Ключниченко, А.Я. Лобко, Е.Н. Кожекина, В.И. Тимченко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 62–71.

References

1. Razrabotka intellektual'noy sistemy diagnostiki mashinnykh agregatov s elektricheskim privodom / M.G. Bashirov, N.A. Khisamov, YA.S. Zhurba, O.G. Volkova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 4(142). – S. 17–23.
2. Bredikhin, A.I. Algoritmy obucheniya svertochnykh neyronnykh setey / A.I. Bredikhin // Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2019. – № 1(52). – S. 41–54.
3. Ivanova, Ye.V. Sistema ucheta poseshchayemosti studentov na osnove raspoznavaniya lits / Ye.V. Ivanova, A.YU. Struyeva // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika. – 2021. – T. 10. – № 4. – S. 60–73.
4. Kravchuk, M.V. Obzor zadach i metodov analiza graficheskoy informatsii v sistemakh identifikatsii pol'zovatelya / M.V. Kravchuk, G.K. Oleynikov // Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2021. – № 3(35). – S. 107–113.
5. Khusainov, R.M. Raspoznavaniye ob'yektov dorozhnoy infrastruktury na osnove neyrosetevoy modeli Yolov8 / R.M. Khusainov, N.G. Talipov // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. – 2024. – T. 27. – № 8. – S. 116–119.
6. Bashirova, E.M. Biblioteki komp'yuternogo zreniya na Python / E.M. Bashirova, A.A. Sharipov // Nauka. Tekhnologiya. Proizvodstvo – 2023: Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu OOO «Gazprom neftekhim Salavat», Salavat, 24–28 aprelya 2023 goda. – Salavat: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet, 2023. – S. 234–235.
7. Neyrosetevyye algoritmy raspoznavaniya lits v sistemakh biometricheskoy autentifikatsii i videonablyudeniya / A.D. Klyushnichenko, A.YA. Lobko, Ye.N. Kozhekina, V.I. Timchenko // Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskkiye nauki. – 2021. – № 2. – S. 62–71.

© Э.М. Баширова, И.У. Надыргулов, В.Э. Минибаев, А.А. Серебряков, 2025

УДК 681.518:621.891

Т.В. БЫЧКОВА, В.А. ПОГОНЫШЕВ, Д.А. ПОГОНЫШЕВА, И.А. МОКШИН
ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», г. Брянск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ФАБО

Цель

Ключевые слова: затухающие колебания; колебания; моделирование; моделирование колебаний; покрытие; финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО).

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с разработкой математической модели колебательного процесса, возникающего в поверхностном слое покрытия, нанесенного на подложку. В процессе исследования построена стержневая модель колебаний, возникающих при внешнем продольном воздействии на стержень, когда вдоль него распространяется волна сжатий и растяжений.

Цели статьи – разработка математической модели колебаний стержня с учетом действующих на него внутреннего и внешнего трения в программной среде *Mathcad15* и выявление математической зависимости коэффициента затуханий колебаний от характеристик различных материалов.

Математическая модель

Рассмотрим упругий однородный стержень, способный совершать продольные колебания. При внешнем продольном воздействии на стержень вдоль него будет распространяться волна сжатий и растяжений.

Направим ось координат вдоль стержня и введем обозначения: x – координата поперечного сечения стержня в состоянии покоя; S – площадь поперечного сечения стержня; ρ – плотность материала стержня; m – погонная масса ($m = \rho S$); E – модуль Юнга вещества стержня. В начальный момент времени, когда на стержень, моделирующий нанесенное на поверхность покрытие, воздействует однократное продольное нагружение P , стержень будет совершать продольные колебания, $y(x, t)$ – продольное смещение x в момент времени t . Будем учитывать, что колебания стержня достаточно малы, а продольная деформация с учетом вязкого трения подчиняется закону Гука. Рассмотрим свободные колебания стержня при наличии сил трения. Волновое уравнение продольных колебаний стержня при его постоянной жесткости ($SE = const$) с учетом сил трения (F) будет выглядеть следующим образом [2]:

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - SE \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + F = 0$$

Введение

Технология финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО) основана на переносе мягкого металла при трении на обрабатываемую поверхность. Полученное таким образом покрытие позволяет повысить износостойкость взаимодействующих материалов. Изнашивание деталей машин существенно зависит от амплитуды их вибраций в процессе работы. Чем эффективней гасятся колебания, тем меньше износ узлов трения. При этом основные явления, характеризующие процессы трения, наблюдаются в тонком приповерхностном слое. Для создания сплошного ровного слоя плакирующего металла перенос должен осуществляться не отдельными крупными частицами, а сплошным слоем с хорошей адгезией. Полученная шероховатая поверхность похожа на шероховатость подложки, поэтому в качестве модели нанесенного покрытия на поверхности с определенной степенью точности будем использовать стержневую модель [1].

или

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \vartheta^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{1}{m} \cdot F = 0, \quad (1)$$

где

$$\vartheta = \sqrt{\frac{ES}{m}} = \sqrt{\frac{ES}{\rho S}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

является скоростью распространения продольной волны в стержне.

Силы трения пропорциональны либо абсолютным скоростям движения $\partial y / \partial t$ (внешнее трение – продольное перемещение условной точки за некоторое время), либо скоростям их относительного перемещения $\partial^2 y / \partial x \partial t$ (внутреннее трение – перемещение условной точки относительно ее первоначального положения за некоторое время), поэтому коэффициенты внешнего трения пропорциональны соответствующим массам, а коэффициенты внутреннего трения пропорциональны соответствующим жесткостям [3; 4]. Таким образом, силу трения представим в виде суммы внешней и внутренней составляющих трения:

$$F = \alpha_1 \frac{\partial y}{\partial t} + \alpha_2 SE \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t}. \quad (2)$$

Тогда с учетом (2) уравнение (1) перепишется в виде:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \vartheta^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\alpha_1}{m} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + \alpha_2 \vartheta^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} = 0, \quad (3)$$

где α_1 , α_2 – коэффициенты внешнего и внутреннего трения материала стержня. Полученное уравнение ограничено случаем наличия малых продольных колебаний, учитывает внешнее сопротивление среды и внутреннее трение однородного стержня.

Граничные условия, где L – длина стержня, зададим следующим образом:

$$y|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{x=L} = 0. \quad (4)$$

В первоначальный момент времени $t = 0$ на стержень с закрепленным концом, находящимся в состоянии покоя, воздействует сила

P – однократное нагружение, направленное вдоль продольной оси x :

$$y|_{t=0} = \frac{P}{ES} x, \quad \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{t=0} = 0. \quad (5)$$

Решением уравнения (3) с заданными начальными (5) и граничными (4) условиями методом разложения в ряд Фурье по собственным функциям является [5]:

$$y_k(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\beta_k t} \sin \frac{(2k+1)\pi x}{2L} \times [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t], \quad (6)$$

где

$$a_k = \frac{(-1)^k 8PL}{(2k+1)^2 \pi^2 ES}, \quad b_k = \frac{\beta_k a_k}{\omega_k} \quad (7)$$

коэффициенты Фурье,

$$\beta_k = \frac{\alpha_1}{2m} - \frac{(2k+1)^2 \alpha_2 \pi^2}{6 \vartheta^2 L^2} \quad (7)$$

коэффициенты затухания,

$$\omega_k = \sqrt{\frac{(2k+1)^2 \pi^2}{4L^2 \vartheta^2} - \beta_k^2} \quad (7)$$

частоты затухающих колебаний для k -той составляющей амплитудного спектра свободных колебаний материала.

Уравнение (6) описывает продольные затухающие колебания рассматриваемого стержня. Полученная математическая модель является дискретной.

Реализация модели и обсуждение результатов

На процесс колебаний оказывает влияние материал стержня, что математически учитывается модулем упругости и плотностью материала стержня, приложенной в начальный момент времени нагрузкой P и, конечно же, силой трения, через коэффициенты α_1 , α_2 . Площадь поперечного сечения стержня в данном случае

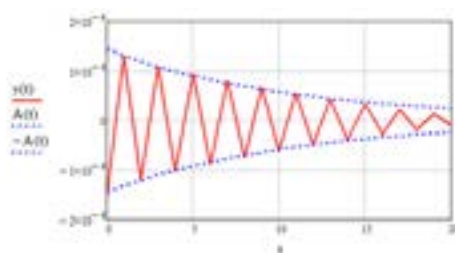


Рис. 1. Колебания медного стержня

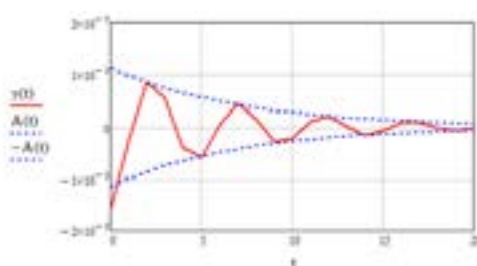


Рис. 2. Колебания алюминиевого стержня

зависит от высоты наносимого покрытия и в рассматриваемой модели будет постоянной величиной для различных материалов.

Продemonстрируем компьютерную реализацию процесса гашения колебаний материалов с резко отличающимся модулем упругости и плотностью. Исследуем колебания медного и алюминиевого стержней в программной среде *Mathcad* 15. Учитываем, что на стержень с закрепленным концом в начальный момент действует нагрузка $P = 550$ Н, размеры стержня малы, сравнимы с размерами покрытия, $S = 0,00005$ м², $L = 0,1$ м, известны модуль Юнга и плотность материала:

$$\begin{aligned} E_{Al} &= 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \rho_{Al} = 2,7 \text{ г/см}^3, \\ E_{Cu} &= 1,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \rho_{Cu} = 8,9 \text{ г/см}^3. \end{aligned} \quad (8)$$

Результаты математического моделирования колебательных процессов для оловянного и алюминиевого стержней представлены на рис. 1 и 2.

Амплитуда полученных затухающих колебаний изменяется по экспоненциальному закону (верхняя пунктирная линия на рис. 1, 2):

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}, \quad (9)$$

где A_0 – начальная амплитуда, β – коэффициент затухания. Увеличение коэффициента затухания приводит к уменьшению амплитуды и тем самым к более быстрому гашению колебаний. Период колебаний не влияет на коэффициент затухания. В результате для меди $\beta_{Cu} = 0,075$ с⁻¹, а для алюминия $\beta_{Al} = 0,156$ с⁻¹. Из уравнения (7) видно, что на коэффициент затухания оказывают влияние силы трения (нами рассмотрен случай одинаковых условий вязкого трения) и скорость распространения продольной волны в стержне, связанная с характеристиками рассматриваемого материала ($\vartheta = \sqrt{E/\rho}$). Анализ полученных данных показывает, что увеличение скорости распространения волны ведет к росту коэффициента затухания. Определим вид этой зависимости. Для этого дополнительно рассмотрим стальной, цинковый, латунный, оловянный стержни. Необходимые данные для реализации построенных моделей взяты из справочника [6]:

$$\begin{aligned} E_{St} &= 2,1 \times 10^5 \text{ МПа}, \rho_{St} = 7,8 \text{ г/см}^3, \\ E_{Zn} &= 0,8 \times 10^5 \text{ МПа}, \rho_{Zn} = 7,1 \text{ г/см}^3, \\ E_{Л} &= 1,0 \times 10^5 \text{ МПа}, \rho_{Л} = 8,5 \text{ г/см}^3, \\ E_{Sn} &= 0,4 \times 10^5 \text{ МПа}, \rho_{Sn} = 7,3 \text{ г/см}^3. \end{aligned} \quad (10)$$

Используя математическую модель (6) в

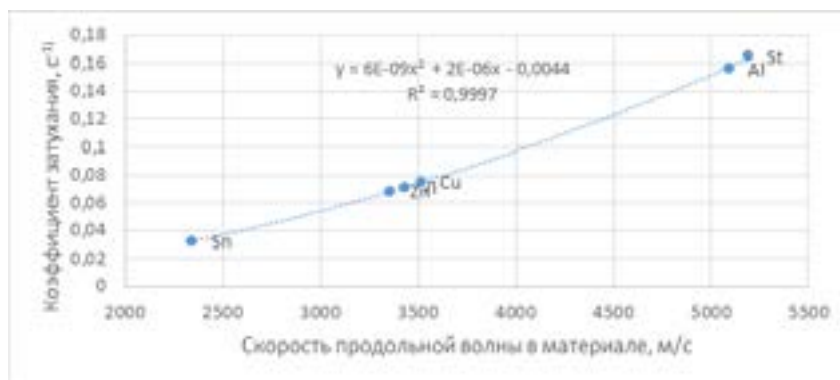


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания от скорости продольной волны в материале

программной среде *Mathcad* 15, мы получили расчетные значения коэффициентов затухания:

$$\begin{aligned} \beta_{St} &= 0,165 \text{ c}^{-1}; \beta_{Zn} = 0,068 \text{ c}^{-1}; \\ \beta_{Al} &= 0,071 \text{ c}^{-1}; \beta_{Sn} = 0,032 \text{ c}^{-1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Нами установлена математическая зависимость коэффициента затухания колебаний $\beta = \beta(\vartheta)$ от скорости продольной волны в материале (рис. 3), имеющая вид:

$$\beta = 6 \cdot 10^{-9} \vartheta^2 + 2 \cdot 10^{-6} \vartheta - 0,0044.$$

Полученная квадратичная зависимость коэффициента затухания колебаний от скорости

распространения продольной волны в стержне показывает, что для алюминия и стали процесс гашения колебаний будет более быстрый, чем для других материалов.

Вывод

Реализованные в программной среде *Mathcad* 15 математические модели колебательных процессов, возникающих в поверхностном слое покрытия, нанесенного на подложку, позволяют выявить такие материалы, пленки из которых будут наилучшим образом гасить колебания в узлах трения, что существенно будет влиять на дальнейший процесс проработки деталей, повысит износостойкость взаимодействующих материалов, увеличит срок эксплуатации машин.

Список литературы

1. Трибологические аспекты совершенствования машинно-технологической обеспеченности АПК / В.А. Погоньшев, Т.В. Бычкова, И.А. Мокшин, Д.А. Погоньшева // Вестник Брянской ГСХА, 2024. – № 3(103). – С. 60–64.
2. Бирюков, А.А. Уравнения математической физики и моделирование физических процессов: учеб. пособие / А.А. Бирюков, А.Ф. Крутов, И.С. Цирова. – Самара : Универс групп, 2009. – 61 с.
3. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний: учебник для вузов / В.Л. Бидерман. – М. : Высш.шк., 1980. – 408 с.
4. Блантер, М.С. Что такое трение / М.С. Блантер // Соросовский образовательный журнал, – 2004. – Т. 8. – № 1. – С. 80–85.
5. Погоньшев, В.А. Повышение износо- и фреттингостойкости деталей машин модифицированием поверхностей: специальность 05.02.04 «Трение и износ в машинах»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / В.А. Погоньшев; Брянская государственная сельскохозяйственная академия. – Брянск, 2000. – 278 с.
6. Енохович, А.С. Справочник по физике и технике. Пособие для учащихся / А.С. Енохович. – М. : Просвещение, 1976. – 175с.

References

1. Razrabotka intellektual'noy sistemy diagnostiki mashinnykh agregatov s elektricheskim privodom / M.G. Bashirov, N.A. Khisamov, YA.S. Zhurba, O.G. Volkova // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2023. – № 4(142). – S. 17–23.
2. Bredikhin, A.I. Algoritmy obucheniya svertochnykh neyronnykh setey / A.I. Bredikhin // *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2019. – № 1(52). – S. 41–54.
3. Ivanova, Ye.V. Sistema ucheta poseshchayemosti studentov na osnove raspoznavaniya lits / Ye.V. Ivanova, A.YU. Struyeva // *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika*. – 2021. – T. 10. – № 4. – S. 60–73.
4. Kravchuk, M.V. Obzor zadach i metodov analiza graficheskoy informatsii v sistemakh identifikatsii pol'zovatelya / M.V. Kravchuk, G.K. Oleynikov // *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2021. – № 3(35). – S. 107–113.
5. Khusainov, R.M. Raspoznavaniye ob'yektov dorozhnoy infrastruktury na osnove neyrosetevoy modeli Yolov8 / R.M. Khusainov, N.G. Talipov // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. – 2024. – T. 27. – № 8. – S. 116–119.
6. Bashirova, E.M. Biblioteki komp'yuternogo zreniya na Python / E.M. Bashirova, A.A. Sharipov // *Nauka. Tekhnologiya. Proizvodstvo – 2023: Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu OOO «Gazprom neftekhim Salavat», Salavat, 24–28 aprelya 2023 goda*. – Salavat: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet, 2023. – S. 234–235.
7. Neyrosetevyye algoritmy raspoznavaniya lits v sistemakh biometricheskoy autentifikatsii i videonablyudeniya / A.D. Klyushnichenko, A.YA. Lobko, Ye.N. Kozhekina, V.I. Timchenko // *Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskkiye nauki*. – 2021. – № 2. – S. 62–71.

© Т.В. Бычкова, В.А. Погоньшев, Д.А. Погоньшева, И.А. Мокшин, 2025

УДК 51(075.8)

А.Б. ГОНЧАРОВА, Е.П. КОЛПАК, Н.А. ГАСРАТОВА
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет», г. Санкт-Петербург

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИФФУЗИЯ ПОПУЛЯЦИИ

Ключевые слова: жертва; математическая модель; популяция; точки притяжения; устойчивость; хищник.

Аннотация. Влияние плотности популяции на диффузионный процесс заселения территории представляет собой сложный механизм. Цель работы – дать прогноз вариантов заселения популяцией территории на основе нелинейного процесса диффузионного смещения особей. Математическая модель представлена нелинейным эволюционным уравнением, имитирующим распространение популяции на территории. Считается, что подвижность особей зависит от плотности населения. Неоднородность среды обитания учитывается в граничных условиях с учетом мест, малоприспособленных для выживания. Показано, что высокая подвижность особей может привести к исчезновению популяции на осваиваемой территории. При низкой подвижности популяция может не преодолеть участки, малоприспособленные для проживания. Неоднородность среды обитания, плотность популяции могут являться причиной исчезновения популяции в местах обитания при наличии трофического ресурса.

Введение

Точечные модели популяций предполагают пространственную однородность мест проживания. Реальные экосистемы имеют пространственную структуру, могут состоять из нескольких близко расположенных частей с различными свойствами [1; 6; 11; 12]. Плотность населения на территории зависит от структуры мест обитания. Освоение территории оседлыми популяциями происходит за счет миграции особей из плотно заселенных мест

в места с меньшим количеством населения [1; 13; 14]. Математические модели перемещения мигрантов на территории разрабатываются на основе эволюционных уравнений [7; 14].

Математическая модель

В самом общем случае подвижность особей определяется многими факторами – рождаемостью, обилием трофических ресурсов, плотностью популяции. В большинстве опубликованных работ исследуется вариант диффузионного смещения, не зависящего от плотности популяции [1]. Однако если происходит «диффузия» не отдельных особей, а организованных групп, или происходит «выдавливание» социально малозначимых особей из мест обитания [5; 6], то «диффузионное» смещение следует рассматривать как нелинейный процесс. В работе [14] предлагается и обосновывается вариант модели ($0 < \beta$):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial}{\partial x} \left(u^\beta \frac{\partial u}{\partial x} \right) + f(u), \quad (1)$$

в которой u – линейная плотность популяции, а диффузионное смещение Du^β особей рассматривается как нелинейный процесс, возникающий с момента освоения небольшой группой особей нового места обитания [7]. На параметр β накладывается условие $0 \leq \beta$.

Функция $f(u)$ для обобщенной логистической популяции [2; 4] на промежутке $[0, a]$ удовлетворяет условиям:

$$\begin{aligned} f(0) = f(a) &= 0, \\ f'(0) &= \mu, \\ f''(u) &< 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Неоднородность территории учитывается в граничных условиях:

$$u|_{x=0} = 0, \frac{\partial u}{\partial x}|_{x=l} = 0. \quad (3)$$

То есть предполагается, что одна из границ ареала непригодна для проживания, а на второй границе происходит свободный рост численности популяции.

Установившееся во времени распределение функции $u(x)$ удовлетворяет уравнению:

$$D \frac{\partial}{\partial x} \left(u^\beta \frac{\partial u}{\partial x} \right) + f(u) = 0. \quad (4)$$

Умножение этого уравнения на du/dx , интегрирование с последующими преобразованиями приводят к уравнению:

$$\frac{D}{2} \left(u^\beta \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 = \Phi(u_*) - \Phi(u), \quad (5)$$

$$\Phi(u) = \int_0^u f(u) u^\beta du,$$

где $u_* \neq 0$ – значение функции u в точке $x = l$. При этом граничное условие (3) при $x = l$ будет выполняться. Введенная функция $\Phi(u)$ при выполнении условий (2) будет монотонно возрастающей функцией. Достигает экстремальное значение в точке $u = a$.

Интегрирование уравнения (5) приводит к неявному определению функции u :

$$x = \sqrt{\frac{D}{2}} \int_0^u \frac{u^\beta}{\sqrt{\Phi(u_*) - \Phi(u)}} du.$$

Постоянная интегрирования u_* находится как корень уравнения:

$$l = \sqrt{\frac{D}{2}} \int_0^{u_*} \frac{u^\beta}{\sqrt{\Phi(u_*) - \Phi(u)}} du.$$

Если это уравнение имеет решение, то решение уравнения (5) будет построено. В противном случае уравнение (4) будет иметь только тривиальное решение.

Для логистической популяции [3; 5] принимается, что $f(u) = \mu u(1 - u)$. И уравнение (5)

преобразуется к виду:

$$\int_0^{u/u_*} \frac{u_*^{\beta/2} \theta^\beta d\theta}{\sqrt{((\beta+3)(1-\theta^{2+\beta}) - (\beta+2)u_*(1-\theta^{3+\beta}))}} = \sqrt{\frac{2\mu}{D(\beta+2)(\beta+3)}} x,$$

где $u = \theta u_*$ ($0 \leq \theta \leq 1$).

Постоянная интегрирования u_* находится из решения трансцендентного уравнения:

$$u_*^{\beta/2} \int_0^1 \frac{\theta^\beta d\theta}{\sqrt{((\beta+3)(1-\theta^{2+\beta}) - (\beta+2)u_*(1-\theta^{3+\beta}))}} = \sqrt{\frac{2\mu}{D(\beta+2)(\beta+3)}} l. \quad (6)$$

При этом в силу условий (2) u_* лежит в диапазоне $0 < u_* < 1$. Левая часть уравнения (6) обращается в ноль при $u_* = 0$, а при $u_* \rightarrow 1$ неограниченно растет. При $u_* < 1$ подынтегральное выражение в левой части уравнения (6) имеет особенность $1/\sqrt{1-\theta}$ в точке $\theta = 1$. Этим обеспечивается конечность интеграла в левой части уравнения (6). Интеграл в левой части уравнения (6) при $u_* < 1$ и $0 < \beta$ сходится и обращается в ноль при $u_* = 0$. При $u_* \rightarrow 1$ он неограниченно растет. Поэтому при значениях $u_* < 1$ и $0 < \beta$ уравнение (6) будет иметь решение при любых положительных значениях D .

Для случая линейной диффузии принимается, что $\beta = 0$, и (6) принимает вид:

$$\int_0^1 \frac{d\theta}{\sqrt{3(1-\theta^2) - 2u_*(1-\theta^3)}} = \sqrt{\frac{\mu}{3D}} l. \quad (7)$$

Минимум левой части этого равенства достигается при $u_* = 0$ и равен $\pi/2\sqrt{3}$. С учетом этого при выполнении неравенства $\sqrt{\mu l} < \pi/2\sqrt{D}$ уравнение (7) решений не имеет. Соответственно, уравнение (4) при малых значениях параметра μ или при больших значениях параметра D будет иметь лишь тривиальное решение.

Уравнение (1) для логистической популя-

ции на бесконечной прямой имеет для случая $\beta = 0$ автоволновое решение вида $u = u(x - ct)$, где c – скорость распространения волны. Распространение такой волны может происходить со скоростями $c > 2\sqrt{\mu D}$ [9; 14]. Уравнение (1) имеет два решения: $u(t, x) = 1$ и $u(t, x) = 0$. Для $\beta > 0$ решение, удовлетворяющее условиям существования автоволны [3; 14], должно существовать.

Численный алгоритм решения

Для построения численного решения уравнения (1) используется конечно-разностный метод [7; 8]. На отрезке $[0, l]$ вводится равномерная пространственная сетка $[0, h, 2h, \dots, ih, \dots, nh]$ с шагом h . По временной переменной – сетка с шагом τ . Вводится сеточная функция $[u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n]$ – такая, что $u_i = u(t, x_i)$.

Дискретизация дифференциального оператора $\partial / \partial x (u^\beta \partial u / \partial x)$ во внутренних узловых точках осуществляется разностным отношением:

$$A_i = \frac{1}{h^2} [b_i u_{i-1} - (b_i + b_{i+1}) u_i + b_{i+1} u_{i+1}],$$

$$(i = 2, 3, \dots, n-1),$$

где

$$b_i = \frac{1}{2} (u_i^\beta + u_{i-1}^\beta).$$

В первом узле u_1 определяется как $u_1 = u(t, 0)$, а производная функции $u(t, x)$ на границе $x = l$ определяется через разностное отношение:

$$\frac{u_n(t) - u_{n-1}(t)}{h}.$$

Производная по временной переменной определяется разностным отношением:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = \frac{u_i(t) - u_i(t - \tau)}{\tau},$$

где $u_i(t)$ – значение сеточной функции в i -ом узле в момент времени t , а $u_i(t - \tau)$ – в момент времени $t - \tau$.

Значение функции $f(u)$ в i -ом узле подсчи-

тывается по формуле $f_i = f(u_i)$.

Для граничных условий (3) система алгебраических уравнений построения решения уравнения (1) принимает вид:

$$u_1 = 0,$$

$$u_i(t) = u_i(t - \tau) +$$

$$D \frac{\tau}{h^2} [b_i u_{i-1} - (b_i + b_{i+1}) u_i + b_{i+1} u_{i+1}] + \tau f_i(u_i). \quad (8)$$

$$(i = 2, 3, \dots, n-1),$$

$$u_n = u_{n-1}.$$

В правых частях уравнений (8) b_i , u_i и f_i вычисляются в момент времени t . То есть используется неявная разностная схема. Поскольку система уравнений (8) нелинейная, то для ее решения используется метод простой итерации.

В векторной форме (8) можно представить в виде:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}(t - \tau) + D \frac{\tau}{h} \mathbf{B}(\mathbf{b}, \mathbf{u}) + \mathbf{f}(\mathbf{u}).$$

Итерационный процесс метода простой итерации реализуется по схеме:

$$\mathbf{u}^k(t) = \mathbf{u}(t - \tau) + D \frac{\tau}{h^2} \mathbf{B}(\mathbf{b}^{k-1}, \mathbf{u}^k) + \mathbf{f}(\mathbf{u}^{k-1}),$$

где k – номер итерации. Итерационный процесс считается законченным, если на двух соседних итерациях выполняется условие $\|\mathbf{u}^k(t) - \mathbf{u}^{k-1}(t)\| < \epsilon$.

Для случая $D = 0$ схема уравнений (8) представляет собой неявную схему Эйлера решения обыкновенного дифференциального уравнения.

Шаг интегрирования τ для линейных уравнений диффузии выбирается из условия $D\tau/h^2 < 1$ [14]. Для нелинейного уравнения (8) в общем случае выбор шага на конкретной пространственной сетке осуществляется сравнением решений, построенных с шагом τ и с шагом $\tau/2$.

Метод простой итерации в силу его условной простоты программной реализации наиболее эффективен в программных системах, в которых реализована векторизация вычислений. Количество итераций больше, чем в методах, реализующих иные алгоритмы решения уравнений, но векторизация вычислений значительно увеличивает скорость вычислений.

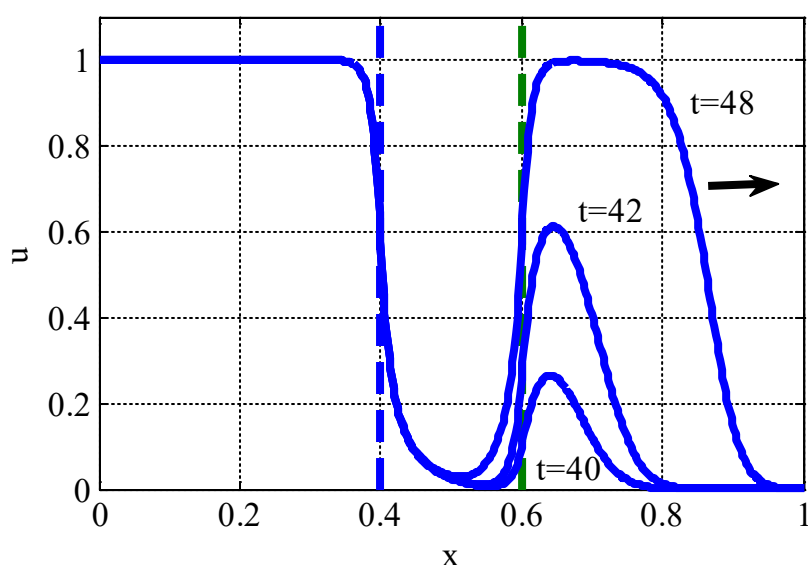


Рис. 1. Зависимость функции $u(x)$ в различные моменты времени

Геометрическая нелинейность среды обитания

Геометрическая нелинейность среды может выражаться и в невозможности размножения популяции на некоторых участках ареала. Модель заселения свободного ареала [9; 10] задается условиями:

$$u(t, x=0) = 1, \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, u(t=0, x) = 0.$$

Отсутствие размножения на участке $x_1 < x < x_2$ задается трофической функцией $f(u) = \mu u(0 - u)$.

На рис. 1 для случая параметров $\beta = 0$, $D = 0,0001$, $\mu = 1$, $x_1 = 0,4$, $x_2 = 0,6$ приведено распределение функции $u(t, x)$ вдоль координаты в моменты времени $t = 40$, $t = 42$ и $t = 48$. Зона «пустоши» отмечена вертикальными пунктирными линиями. Направление распространения популяции отмечено горизонтальной стрелкой. При этих же данных при нелинейной диффу-

зии с параметром $\beta = 1$ популяция зону пустоши не преодолевает. Распространение особей популяции в направлении точки $x = l$ прекращается после достижения точки $x = x_1$.

Заключение

Распространение популяции на территории определяется удельной скоростью роста численности, подвижностью, географическими характеристиками среды. При высокой подвижности особей или низкой рождаемости особей популяция может исчезнуть на такой территории. При низкой подвижности особей происходит медленное освоение территории, но мало-пригодные для проживания участки могут стать непреодолимым препятствием для распространения на соседние территории. В математических моделях взаимодействующих популяций учет физической нелинейности движения особей, геометрической нелинейности среды обитания позволяет расширить понимание наблюдаемых в природе процессов.

Список литературы

1. Бигон, М. Экология. Особи, популяции и сообщества: в двух томах / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсед. – М.: Мир. – 1989. – Т. 1. – 667 с.; Т. 2. – 477 с.
2. Гончарова, А.Б. Камерная модель новообразования / А.Б. Гончарова, М.Ю. Виль, Е.П. Колпак // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 8(134). – С. 36–40.
3. Гончарова, А.Б. Модели антропогенного давления на экосистему: учебное пособие /

А.Б. Гончарова, Е.П. Колпак, Н.А. Гасратова ; С.-Петерб. гос. ун-т. – Казань : ООО «Бук», 2024. – 102 с.

4. Гончарова, А.Б. Математическая модель иммунологии и химиотерапии злокачественного образования / А.Б. Гончарова, Е.П. Колпак, И.А. Кузина // Перспективы науки. – 2021. – № 12(147). – С. 14–19.

5. Математические модели конкуренции / А.Б. Гончарова, Е.П. Колпак, Н.А. Гасратова, Е.В. Горыня. – Казань : ООО «Бук», 2025. – 106 с.

6. Громов, В.С. Пространственно-этологическая структура популяций грызунов / В.С. Громов. – М. : Т-во науч. изданий КМК, 2008. – 581 с.

7. Епифанов, А.В. Математическая модель идеального распределения родственных популяций на неоднородном ареале / А.В. Епифанов, В.Г. Цибулин // Владикавказский математический журнал. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 78–88.

8. Коваленко, С.А. Асимптотическое решение краевой задачи в диффузионном слое для стационарной системы уравнений Нернста – Планка – Пуассона / С.А. Коваленко, М.Х. Уртенев // Перспективы науки. – 2024. – № 6(177). – С. 105–112.

9. Колпак, Е.П. Математическая модель восстановления растительности на техногенной пустоши / Е.П. Колпак, Н.А. Гасратова, М.В. Столбовая // Перспективы науки. – 2024. – № 8(179). – С. 39–44.

10. Курилова, Е.В. Моделирование динамики взаимодействующих популяций типа «хищник-жертва» при постоянной миграции особей с сопредельных территорий / Е.В. Курилова, Е.Я. Фрисман // Региональные проблемы. – 2024. – Т. 27. – № 1. – С. 62–77.

11. Марков, Н.И. Пространственное распределение и структура поселений барсука (*Meles leucurus*, Hodgson, 1847) островных территорий поймы р. Оби / Н.И. Марков // Экология. – 2009. – № 6. – С. 454–459.

12. Мысленков, А.И. Местообитания, распространение и численность амурской рыси *Lynx lynx stroganovi* и дальневосточного лесного кота *Prionailurus bengalensis euptilura* в Лазовском заповеднике и национальном парке «Зов тигра» (Приморский край, Дальний Восток России) / А.И. Мысленков, И.В. Волошина, А.А. Шурыгина, Л.Ли. Керли // Биота и среда природных территорий. – 2023. – Т. 11. – № 3. – С. 27–52.

13. Перемещения радиомеченых самок белого медведя (*Ursus maritimus*) на острове Земля Александры (архипелаг Земля Франца-Иосифа) в безледный период осенью 2011 г. / В.В. Рожнов, Н.Г. Платонов, И.Н. Мордвинцев [и др.] // Зоологический журнал. – 2014. – Т. 93. – № 11. – С. 1354–1368.

14. Murray, D.D. Mathematical biology / D.D. Murray. – N.Y. Springer, 2002. – 551 p.

References

1. Bigon, M. Ekologiya. Osobi, populyatsii i soobshchestva: v dvukh tomakh / M. Bigon, Dzh. Kharper, K. Taunsed. – M. : Mir. – 1989. – Т. 1. – 667 s. ; Т. 2. – 477 s.

2. Goncharova, A.B. Kamernaya model' novoobrazovaniya / A.B. Goncharova, M.YU. Vil', Ye.P. Kolpak // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 8(134). – С. 36–40.

3. Goncharova, A.B. Modeli antropogennogo davleniya na ekosistemu: uchebnoye posobiye / A.B. Goncharova, Ye.P. Kolpak, N.A. Gasratova ; S.-Peterb. gos. un-t. – Kazan' : ООО «Бук», 2024. – 102 s.

4. Goncharova, A.B. Matematicheskaya model' immunologii i khimioterapii zlokachestvennogo obrazovaniya / A.B. Goncharova, Ye.P. Kolpak, I.A. Kuzina // Perspektivy nauki. – 2021. – № 12(147). – С. 14–19.

5. Matematicheskiye modeli konkurentsii / A.B. Goncharova, Ye.P. Kolpak, N.A. Gasratova, Ye.V. Gorynya. – Kazan' : ООО «Бук», 2025. – 106 s.

6. Gromov, V.S. Prostranstvenno-etologicheskaya struktura populyatsiy gryzunov / V.S. Gromov. – M. : T-vo nauch. izdaniy KMK, 2008. – 581 s.

7. Yepifanov, A.V. Matematicheskaya model' ideal'nogo raspredeleniya rodstvennykh populyatsiy na neodnorodnom areale / A.V. Yepifanov, V.G. Tsibulin // Vladikavkazskiy matematicheskii zhurnal. –

2023. – Т. 25. – № 2. – С. 78–88.

8. Kovalenko, S.A. Asimptoticheskoye resheniye krayevoy zadachi v diffuzionnom sloye dlya statsionarnoy sistemy uravneniy Nernsta – Planka – Puassona / S.A. Kovalenko, M.KH. Urtenov // Perspektivy nauki. – 2024. – № 6(177). – С. 105–112.

9. Kolpak, Ye.P. Matematicheskaya model' vosstanovleniya rastitel'nosti na tekhnogennoy pustoshi / Ye.P. Kolpak, N.A. Gasratova, M.V. Stolbovaya // Perspektivy nauki. – 2024. – № 8(179). – С. 39–44.

10. Kurilova, Ye.V. Modelirovaniye dinamiki vzaimodeystvuyushchikh populyatsiy tipa «khishchnik-zhertva» pri postoyannoy migratsii osobey s sopredel'nykh territoriy / Ye.V. Kurilova, Ye.YA. Frisman // Regional'nyye problemy. – 2024. – Т. 27. – № 1. – С. 62–77.

11. Markov, N.I. Prostranstvennoye raspredeleniye i struktura poseleniy barsuka (Meles Leucurus, Hodgson, 1847) ostrovnykh territoriy poymy r. Obi / N.I. Markov // Ekologiya. – 2009. – № 6. – С. 454–459.

12. Myslenkov, A.I. Mestoobitaniya, rasprostraneniye i chislennost' amurskoy rysy Lynx lynx stroganovi i dal'nevostochnogo lesnogo kota Prionailurus bengalensis euphilura v Lazovskom zapovednike i natsional'nom parke «Zov tigra» (Primorskiy kray, Dal'niy Vostok Rossini) / A.I. Myslenkov, I.V. Voloshina, A.A. Shurygina, L.Li. Kerli // Biota i sreda prirodnnykh territoriy. – 2023. – Т. 11. – № 3. – С. 27–52.

13. Peremeshcheniya radiomechenykh samok belogo medvedya (Ursus maritimus) na ostrove Zemlya Aleksandry (arkhipelag Zemlya Frantsa-Iosifa) v bezlednyy period osen'yu 2011 g. / V.V. Rozhnov, N.G. Platonov, I.N. Mordvintsev [i dr.] // Zoologicheskiy zhurnal. – 2014. – Т. 93. – № 11. – С. 1354–1368.

© А.Б. Гончарова, Е.П. Колпак, Н.А. Гасратова, 2025

УДК 51.77

И.В. ЗАЙЦЕВА, В.В. БОНДАРЬ, О.Н. НИКУЛИНА

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург;

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь;

ФГБОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», г. Невинномысск

НАХОЖДЕНИЕ КОМПРОМИССНОЙ СИТУАЦИИ ТОРГОВ В РАЗНЫХ СФЕРАХ ЭКОНОМИКИ

Ключевые слова: задача; компромиссное решение; модель; теория игр.

Аннотация. В статье рассматривается многошаговая теоретико-игровая модель торгов первой цены с возможным возникновением коррупции. В игре имеется конечное число заказчиков, которые выставляют на торги каждый свой контракт, имея его оценку и указывая цену, а также конечное число фирм-исполнителей, которые указывают свои цены, по которым они готовы выполнить условия контракта, имея свои оценки по издержкам. В модели фирмы-исполнители конкурируют за контракты посредством торгов первой цены. В модели предполагается, что организатор торгов коррумпирован и может повлиять на процесс распределения контрактов. Целью статьи является разработка математической модели нахождения компромиссной ситуации для торгов в экономической сфере. Задачи работы: формулировка множества стратегий решения задачи, установка условий выполнения стратегий, алгоритм нахождения компромиссного решения. Рассматриваемая задача исследуется и решается методами теории игр. Приведен численный пример нахождения компромиссного решения.

Рассмотрим многошаговую теоретико-игровую модель торгов первой цены с возможным возникновением коррупции Γ_l , где l – количество шагов в игре. В игре конечное число заказчиков, составляющих множество $S = \{s_1, \dots, s_n\}$, которые выставляют на торги каждый свой контракт, имея его оценку $w_i > 0$ и указывая цену

$p_{ij}^l > 0$, где $j = 1, \dots, n$ и $\bar{p}_j^l \in \bar{P}_j^l$, где $\bar{P}_j^l = [p_{j1}^l, \dots, p_{jn}^l]$ – множество стратегий заказчика, желающего распределить j -ый контракт на l -ом шаге игры. Так же конечное число фирм-исполнителей, составляющих множество $F = \{f_1, \dots, f_n\}$ ($n \geq 2$). Фирмы-исполнители, учитывая предысторию игры, указывают свои цены $p_{ij} > 0$, по которым они готовы выполнить условия контракта, имея свои оценки по издержкам c_{ij} , где $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, n$, и $\bar{p}_i^l \in \bar{P}_i^l$, $\bar{P}_i^l = [p_{i1}^l, \dots, p_{in}^l]$ – множество стратегий i -ой фирмы на l -ом шаге игры. Рассмотрим алгоритм нахождения компромиссной ситуации для данной игры.

Шаг 1. Построим идеальный вектор $M = [M_1, \dots, M_n, M_{n+1}, \dots, M_{2n}, M_A]$, где $M_i = \max \{H_i(z_k) | z_k \in Z_k\}$, $j = (n+1) \dots (2n)$ (M_i – максимальное значение функции выигрыша фирмы f_i), $M_j = \max \{H_j(z_k) | z_k \in Z_k\}$, $j = (n+1) \dots (2n)$ (M_j – максимальное значение функции выигрыша заказчика s_j) и $M_A = \max \{H_A(z_k) | z_k \in Z_k\}$ (M_A – максимальное значение функции выигрыша аукциониста).

Шаг 2. В каждой ситуации z_k для всех игроков найдем отклонение от максимума (M_i , M_j и M_A) для остальных значений функции выигрыша ($M_i - H_i$, $M_j - H_j$ и $M_A - H_A$).

Шаг 3. Из найденных отклонений ($M_i - H_i(z_k)$, $M_j - H_j(z_k)$ и $M_A - H_A(z_k)$) выбираем максимальное:

- 1) для каждого игрока $\max((M_i - H_i(z_k)), (M_j - H_j(z_k)), (M_A - H_A(z_k)))$;
- 2) для каждого исполнителя $\max(M_i - H_i(z_k))$;
- 3) для каждого заказчика $\max(M_j - H_j(z_k))$.

Шаг 4. Выбираем минимальное из этих максимальных отклонений:

- 1) $\min_{z_k \in Z_k} (\max_{i,j} ((M_i - H_i(z_k)), (M_j - H_j(z_k)), (M_A - H_A(z_k))))$;
- 2) $\min_{z_k \in Z_k} (\max_j (M_j - H_j(z_k)))$;
- 3) $\min_{z_k \in Z_k} (\max_j (M_j - H_j(z_k)))$.

Ситуация, в которой достигается минимум, и является компромиссным решением:

- 1) для всех игроков;
- 2) для всех фирм-исполнителей;
- 3) для всех заказчиков [1–3].

Приведем числовой пример многошаговой игры торгов, учитывая, что имеется полная информация, продавец и два заказчика с возможным возникновением коррупции. Исходными данными будут: заказчики ($n = 2$), оценки по лотам $w_1 = 12$, $w_2 = 11$ выставляются на торги по ценам $\bar{p}_1 = 10$, $\bar{p}_2 = 10$, соответственно, фирмы имеют свои оценки по затратам на выполнение подрядов $c_1 = 4$, $c_{12} = 5$, $c_{21} = 6$, $c_{22} = 7$ и указывают свои цены $p_1 = \{10, 9, 8\}$, $p_2 = \{10, 9, 8\}$. Определим размер взятки $b_1 = \{0, 1\}$ и $b_2 = \{0, 1\}$, ограниченной сверху величиной $\bar{B} = 1$. Максимальная взятка позволяет корректировку, не превышающую фиксированный шаг $f = 1$ приращения заявок. Получаем следующую игру Γ^2 [4–5]:

$$\Gamma^2 = \left(I = \{1, 2\}, J = \{1, 2\}, \{P_i\}_{i=1}^2, \{P_j\}_{j=1}^2, \{B_i\}_{i=1}^2, \{C\}_{12 \times 21}, \{W\}_{j=1}^2, \{H_i\}_{i=1}^2, \{H_j\}_{j=1}^2, \{H_A\} \right),$$

где

$$H_i = \begin{cases} p_{ij} - c_{ij}, & \text{если } p_{ij} = \min_{k \in K_{ij}} (p_{ik}), \\ p_{ij} \leq \bar{p}_i, p_{ij} \geq c_{ij}, & \text{где } i = 1, 2, 3 \text{ и } j = 1, 2; \\ 0, & \text{если } p_{ij} \neq \min_{k \in K_{ij}} (p_{ik}), \\ p_{ij} > \bar{p}_i, p_{ij} < c_{ij}, & \text{где } i = 1, 2, 3 \text{ и } j = 1, 2; \end{cases}$$

$$H_j = \begin{cases} w_j - p_j, & \text{если } p_j = \min_{k \in K_j} (p_k), \\ p_j \leq \bar{p}_j, p_j \geq c_j, & \text{где } i = 1, 2, 3 \text{ и } j = 1, 2; \\ 0, & \text{если } p_j \neq \min_{k \in K_j} (p_k), \\ p_j > \bar{p}_j, p_j < c_j, & \text{где } i = 1, 2, 3 \text{ и } j = 1, 2; \end{cases}$$

$$H_A = \begin{cases} r + b_{12} + b_{21}, & \text{если } b_{ij} = \max_{k \in K_{ij}} (b_{ik}), b_{ij} \leq \bar{B}; \\ 0, & \text{если } b_{ij} \neq \max_{k \in K_{ij}} (b_{ik}), b_{ij} > \bar{B}; \end{cases}$$

ситуация $z = (p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}, b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}, \bar{p}_1, \bar{p}_2)$ и выигрыши $H_i(z)$, $H_j(z)$, $H_A(z)$.

Таким образом, контракт заключается при минимальной назначенной цене. На следующем шаге процесс повторяется и заканчивается, когда все контракты будут реализованы. Рассмотрев все ситуации игры, строим идеальный вектор $M = (5, 3, 4, 3, 2)$. Находим отклонение функций выигрыша от идеального вектора в каждой ситуации игры. Из найденных отклонений выбираем максимальное для каждого игрока и из полученных максимумов выбираем минимальное. Окончательно получаем следующие решения.

1. Компромиссные решения для всех игроков:

- а) $\bar{p}_1 = 10$, $p_1 = 10$, $p_2 = 10$, $b_1 = 0$, $b_2 = 1$, $p'_1 = 9$;
 $\bar{p}_2 = 10$, $p_2 = 9$, $b_1 = 0$;
 $H_1 = 4$, $H_2 = 2$, $H_3 = 3$, $H_4 = 2$, $H_5 = 1$;
- б) $\bar{p}_1 = 10$, $p_1 = 10$, $p_2 = 10$, $b_1 = 1$, $b_2 = 0$, $p'_1 = 9$;
 $\bar{p}_2 = 10$, $p_2 = 9$, $b_2 = 0$;
 $H_1 = 4$, $H_2 = 2$, $H_3 = 3$, $H_4 = 2$, $H_5 = 1$.

2. Компромиссные решения для фирм-исполнителей:

- а) $\bar{p}_1 = 10$, $p_1 = 9$, $p_2 = 10$, $b_1 = 0$, $b_2 = 0$;
 $\bar{p}_2 = 10$, $p_2 = 10$, $b_2 = 0$;
 $H_1 = 5$, $H_2 = 3$, $H_3 = 3$, $H_4 = 1$, $H_5 = 0$;
- б) $\bar{p}_1 = 10$, $p_1 = 10$, $p_2 = 9$, $b_1 = 0$, $b_2 = 0$;
 $\bar{p}_2 = 10$, $p_2 = 9$, $b_1 = 0$;
 $H_1 = 5$, $H_2 = 3$, $H_3 = 3$, $H_4 = 1$, $H_5 = 0$.

3. Компромиссные решения для заказчиков:

а) $\bar{p}_1=10, p_1=8, p_2=9, b_1=0, b_2=0;$

$\bar{p}_2=10, p_2=8, b_2=0;$

$H_1=4, H_2=1, H_3=4, H_4=3, H_5=0;$

б) $\bar{p}_1=10, p_1=8, p_2=10, b_1=0, b_2=0;$

$\bar{p}_2=10, p_2=8, b_2=0;$

$H_1=4, H_2=1, H_3=4, H_4=3, H_5=0;$

в) $\bar{p}_1=10, p_1=8, p_2=10, b_1=0, b_2=1, p'_2=9;$

$\bar{p}_2=10, p_2=8, b_2=0;$

$H_1=4, H_2=0, H_3=4, H_4=3, H_5=1;$

г) $\bar{p}_1=10, p_1=8, p_2=10, b_1=0, b_2=1, p'_2=9;$

$\bar{p}_2=10, p_2=10, b_2=1, p'_2=9;$

$H_1=4, H_2=0, H_3=4, H_4=3, H_5=2;$

д) $\bar{p}_1=10, p_1=9, p_2=8, b_1=0, b_2=0;$

$\bar{p}_2=10, p_2=8, b_2=0;$

$H_1=3, H_2=2, H_3=4, H_4=3, H_5=0;$

е) $\bar{p}_1=10, p_1=9, p_2=8, b_1=0, b_2=0;$

$\bar{p}_2=10, p_2=10, b_2=0;$

$H_1=5, H_2=2, H_3=4, H_4=3, H_5=0;$

ж) $\bar{p}_1=10, p_1=10, p_2=8, b_1=1, b_2=0, p'_1=9;$

$\bar{p}_2=10, p_2=8, b_1=0;$

$H_1=2, H_2=2, H_3=4, H_4=3, H_5=1;$

з) $\bar{p}_1=10, p_1=10, p_2=8, b_1=1, b_2=0;$

$\bar{p}_2=10, p_2=10, b_1=1;$

$H_1=2, H_2=2, H_3=4, H_4=3, H_5=2;$

и) $\bar{p}_1=10, p_1=10, p_2=8, b_1=0, b_2=0;$

$\bar{p}_2=10, p_2=8, b_1=0;$

$H_1=4, H_2=2, H_3=4, H_4=3, H_5=0.$

Таким образом, все контракты будут реализованы и торги заканчиваются. Ситуация, в которой достигается минимум назначенной цены, и является компромиссом для всех игроков.

Список литературы

1. Зайцева, И.В. Математическое моделирование решения конкурентной задачи синхронизации подзадач / И.В. Зайцева, М.Г. Казначеева, Д.В. Шлаев, И.К. Сиденко // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 4(142). – С. 33–36.
2. Зайцева, И.В. Теоретико-игровая модель устойчивости стабильных состояний / И.В. Зайцева, С.А. Теммеева, О.Н. Никулина, Д.В. Шлаев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 6(156). – С. 28–31.
3. Управление динамикой конкурентного взаимодействия между предприятиями / И.В. Зайцева, А.И. Кирьянен, О.А. Малафеев [и др.] // Перспективы науки. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.
4. Моделирование цикличности развития в системе экономик / И.В. Зайцева, О.А. Малафеев, А.В. Степкин [и др.] // Перспективы науки. – 2020. – № 10(133). – С. 173–176.
5. Mathematical model of network flow control / I.V. Zaitseva, O.A. Malafeyev, V.V. Zakharov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 1. – Stavropol, 2020. – P. 012036.

References

1. Zaytseva, I.V. Matematicheskoye modelirovaniye resheniya konkurentnoy zadachi sinkhronizatsii podzadach / I.V. Zaytseva, M.G. Kaznacheyeva, D.V. Shlayev, I.K. Sidenko // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 4(142). – S. 33–36.
2. Zaytseva, I.V. Teoretiko-igrovaya model' ustoychivosti stabil'nykh sostoyaniy / I.V. Zaytseva, S.A. Temmoyeva, O.N. Nikulina, D.V. Shlayev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 6(156). – S. 28–31.
3. Upravleniye dinamikoy konkurentnogo vzaimodeystviya mezhdru predpriyatiyami /

I.V. Zaytseva, A.I. Kir'yanen, O.A. Malafeyev [i dr.] // Perspektivy nauki. – 2021. – № 6(141). – S. 39–42.

4. Modelirovaniye tsiklichnosti razvitiya v sisteme ekonomik / I.V. Zaytseva, O.A. Malafeyev, A.V. Stepkin [i dr.] // Perspektivy nauki. – 2020. – № 10(133). – S. 173–176.

© И.В. Зайцева, В.В. Бондарь, О.Н. Никулина, 2025

УДК 004.89

С.В. ПАЛЬМОВ^{1, 2}, Н.А. ДЕМИДОВ¹¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»;²ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ: РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СТОИМОСТИ АКЦИЙ

Ключевые слова: акции; временной ряд; машинное обучение; нейронные сети; прогнозирование; *Python*; *RNN*.

Аннотация. Целью настоящей работы являлась проверка гипотезы о возможности использования рекуррентных нейронных сетей (*RNN*) с *LSTM*-слоем для прогнозирования краткосрочных изменений стоимости ценных бумаг. В рамках эксперимента была реализована математическая модель, использующая нормализованные данные о ценах закрытия акций. Исследование включало построение временных окон, обучение и тестирование нейросети на различных выборках. Использовались такие методы, как нормализация данных, кросс-валидация, подбор гиперпараметров, регуляризация, оптимизация с помощью алгоритмов «*Adam*» и «*RMSprop*», а также визуализация результатов. Последние показали высокую точность краткосрочных прогнозов и стабильность модели, что подтверждает истинность сформулированной гипотезы.

Введение

В современном финансовом мире анализ временных рядов играет ключевую роль в прогнозировании изменений цен активов и принятии решений. Учитывая сложность структуры финансовых данных и их высокую волатильность, возникает необходимость в использовании мощных методов, способных выявлять временные зависимости и тренды. *RNN*, а также

их модификации, такие как *LSTM*, демонстрируют значительный потенциал в решении подобных задач благодаря способности обрабатывать последовательности данных [1].

Целью исследования являлась проверка гипотезы о возможности использования *RNN* с *LSTM*-слоем для прогнозирования краткосрочных изменений стоимости ценных бумаг. Основная задача заключалась в проверке способности указанной архитектуры обеспечить высокую точность и стабильность прогнозов.

Эксперимент

Была разработана нейросетевая модель, основанная на данных (976 записей) о ценах закрытия акций *Apple Inc.* (за последние три года), источником которых послужила платформа *Yahoo Finance* [2].

Была выполнена предобработка данных.

1. Выделение необходимых столбцов: оставлены два столбца: дата (*Date*) и цена закрытия (*Close*).

2. Конвертация типов данных: «*Date*» преобразован в формат *datetime*, а «*Close*» – в числовой формат (с обработкой отсутствующих значений).

3. Масштабирование данных: с помощью *MinMaxScaler* цены закрытия нормализованы в диапазон [0, 1] для ускорения и стабилизации процесса обучения модели.

Также были сформированы временные окна размером $n = 3$, где первые два значения использовались в качестве входных данных, а третье – в качестве целевой пере-

Таблица 1. Значения гиперпараметров *RNN*

Параметр	Значения	Параметр	Значения
Количество слоев <i>LSTM</i>	1	Тип оптимизатора	<i>Adam</i>
Количество нейронов	64	Скорость обучения	0,001
Функция активации	<i>ReLU</i>	Количество эпох	100

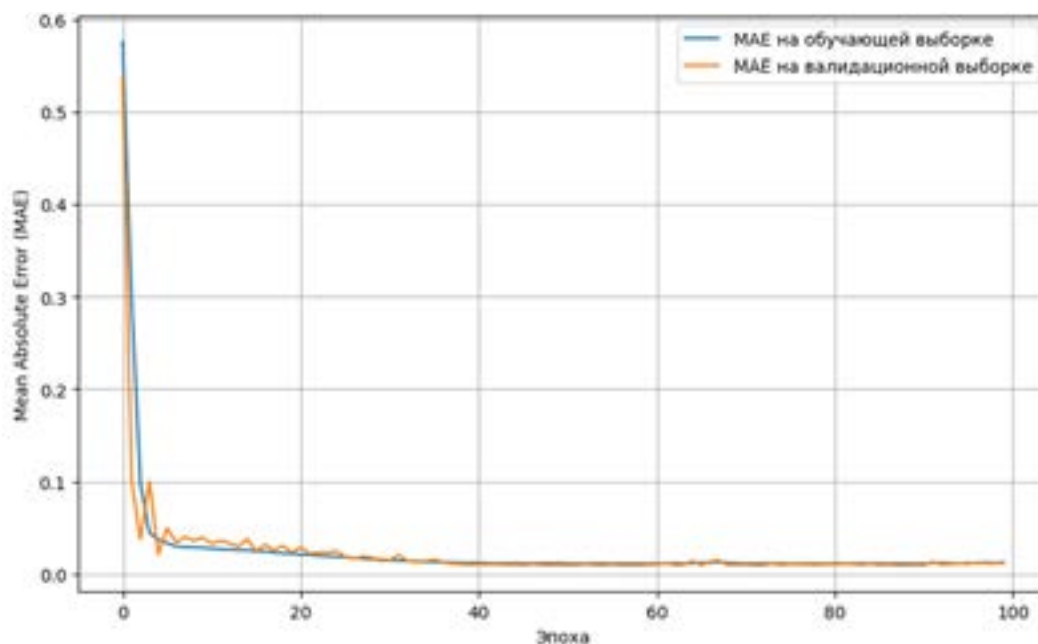


Рис. 1. Изменение *MAE* в процессе обучения

Таблица 2. Результаты эксперимента

Выборка	Средняя ошибка	Стандартное отклонение
Обучающая	0,0121	0,0098
Тестовая	0,0201	0,0143
Валидационная	0,0119	0,0104

менной.

Гиперпараметры модели и их значения представлены в табл. 1.

Обучение модели проводилось на следующих выборках: обучающей (80 % от генеральной совокупности), тестовой (10 %) и валидационной (10 %); последняя играла роль контрольного датасета. Для оценки качества

модели использовалась средняя абсолютная ошибка (*MAE*).

Из кривой (рис. 1) изменения *MAE* видно, что последняя изменяется от начального значения «0,5770» до конечного «0,0133» и имеет тенденцию к сближению, что указывает на то, что эффект прогнозирования модели постепенно приближается к реальному значению и

модель способна качественно прогнозировать цену акций [3].

Результаты эксперимента (табл. 2) подтвердили эффективность использования рекуррентной нейронной сети с *LSTM* для прогнозирования краткосрочных изменений цен акций. Метрики (средняя ошибка и стандартное отклонение) показали, что модель демонстрирует высокую точность на обучающей выборке и сохраняет приемлемые результаты на валидационной выборке [4].

Модель демонстрирует стабильное качество прогнозирования при краткосрочных временных интервалах, что связано с использованием временного окна $n = 3$. Однако на длительных интервалах наблюдаются более значительные отклонения, что обусловлено снижением объема доступной информации о долгосрочных зависимостях.

Применение нормализации данных обеспечило стабильное обучение, что также отра-

зилось на точности прогнозов.

Выводы

1. Использование *LSTM* позволяет эффективно учитывать временные зависимости.

2. Для краткосрочного прогнозирования методика показала высокую точность и применимость для финансового анализа.

3. Возможные ограничения, такие как небольшой размер временного окна и использование только одного признака (цены закрытия), могут быть учтены для дальнейшего совершенствования модели.

Таким образом, гипотеза о применимости *RNN* с *LSTM* для анализа краткосрочных изменений цен акций подтверждена. Будущее развитие модели может включать учет дополнительных факторов (объем торгов, технические индикаторы) и оптимизацию структуры сети для более долгосрочного прогнозирования.

Список литературы

1. Как лучше обучать RNN для прогнозирования временных рядов? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habr.com/en/articles/701798>.
2. Yahoo Finance [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://finance.yahoo.com/quote/AAPL/history>.
3. Time Series Stock Price Forecasting Based on Genetic Algorithm (GA)-Long Short-Term Memory Network (LSTM) Optimization [Electronic resource]. – Access mode : https://arxiv.org/abs/2405.03151?utm_source.
4. Герон, О. Практическое применение машинного обучения с использованием Scikit-Learn, Keras и TensorFlow / пер. с англ. О. Герон. – 2-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 856 с.

References

1. Kak luchshe obuchat' RNN dlya prognozirovaniya vremennykh ryadov? [Electronic resource]. – Access mode : <https://habr.com/en/articles/701798>.
2. Yahoo Finance [Electronic resource]. – Access mode : <https://finance.yahoo.com/quote/AAPL/history>.
4. Geron, O. Prakticheskoye primeneniye mashinnogo obucheniya s ispol'zovaniyem Scikit-Learn, Keras i TensorFlow / per. s angl. O. Geron. – 2-ye izd. – M. : DMK Press, 2020. – 856 s.

© С.В. Пальмов, Н.А. Демидов, 2025

УДК 004.9

С.В. ПАЛЬМОВ^{1, 2}, И.С. ЯНГАЗОВ¹, Д.Д. ЗАБАЛКАНСКИЙ¹

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»;

²ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ

Ключевые слова: алгоритм A*; алгоритм Дейкстры; граф; поиск пути.

Аннотация. Статья исследует эффективность методов «A*» и «Дейкстры» библиотеки *networkx* для поиска кратчайшего пути между узлами графа. Целью работы являлась проверка гипотезы о точности и высокой скорости упомянутых алгоритмов. Проведены эксперименты посредством использования датасета, содержащего данные о графах, для сравнения принципов их работы и скорости. Были задействованы методы сравнительного анализа и математической статистики. Сделаны выводы о применимости последовательностей для построения кратчайшего пути в различных ситуациях. Результаты показали, что методы «A*» и «Дейкстры» обеспечивают высокую точность и скорость нахождения кратчайшего пути между узлами, подтверждая выдвинутую гипотезу о их эффективности.

ется в анализе эффективности алгоритмов поиска кратчайшего пути «A*» и «Дейкстры». Принципы работы алгоритмов указаны в работе [5]. Рассматривается вопрос, способны ли они находить кратчайшие пути на графах с низкими временными затратами и высокой точностью. Эксперименты проводились на графах с различными характеристиками, включая размерность, что позволило оценить производительность обоих алгоритмов в различных условиях.

Для проверки гипотезы об эффективности вышеизложенных алгоритмов был написан скрипт на *Python*. Программа получает информацию из датасета (файл *JSON*), в котором содержатся следующие данные: номер графа, его размер, веса, начальный и конечный узлы, а также кратчайший путь между ними.

Экспериментальная часть проводилась на ноутбуке, технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Введение

В современном обществе, где данные играют важнейшую роль в различных сферах, задача поиска кратчайшего пути между объектами становится все более значимой [1–3]. Методы, разработанные для решения этой проблемы, активно используются в навигационных системах, планировании маршрутов, оптимизации транспортных потоков и т.д. Существует множество алгоритмов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, что делает выбор наиболее подходящего подхода достаточно сложным [4].

Цель настоящего исследования заключа-

Эксперимент

Начальные и конечные значения для работы указаны в табл. 2.

В рамках эксперимента выполнены десять итераций работы скрипта, получены результаты, которые приведены в табл. 3 и 4. Скрипт оценивает веса между узлами графа и строит кратчайший путь по узлам, между которыми вес наименьший.

Выводы

В ходе серии экспериментов было выяснено, что среднее время нахождения кратчайшего пути у алгоритма «A*» составляет 0,394

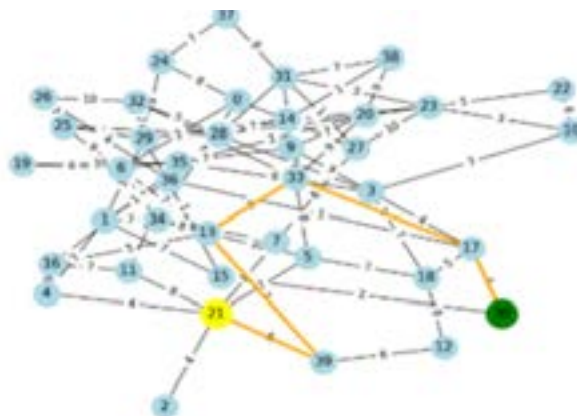


Рис. 1. Пример графа

Таблица 1. Технические характеристики ноутбука

Процессор	<i>AMD Ryzen 5500u</i>
Оперативная память	16 ГБ, <i>DDR4</i> , 3 200 МГц
Накопитель	<i>NVMe SSD</i> 512 ГБ

Таблица 2. Начальный и конечный узел маршрута

№ эксп.	Начальный узел	Конечный узел	№ эксп.	Начальный узел	Конечный узел
1	24	28	6	0	14
2	9	65	7	10	9
3	30	21	8	13	38
4	42	23	9	18	11
5	18	13	10	0	24

мс, а у алгоритма Дейкстры – 1,411. Это свидетельствует о значительном различии во времени выполнения поиска пути. Метод «А*» демонстрирует более высокую скорость нахождения кратчайшего пути по сравнению с алгоритмом Дейкстры, при этом сохраняя высокую точность результатов. Это подтверждает возможность эффективного применения обоих алгоритмов для решения задач поиска кратчайшего пути в графах. Однако было обнаружено, что метод «А*» имеет некоторое отклонение (в эксперименте № 8 был найден путь, отличающийся от пути в датасете).

Таким образом, выбор алгоритма для поиска кратчайшего пути должен основываться не только на временных затратах, но и на требованиях к точности. «А*» может быть предпочтительным в сценариях, где время критично, но его использование должно сопровождаться тщательной проверкой полученных результатов на соответствие ожидаемым. Алгоритм Дейкстры, хотя и менее быстрый, гарантирует нахождение оптимального решения, что делает его надежным выбором в ситуациях, где точность критична. Важно также учитывать характеристики графа и специфику задачи, что-

Таблица 3. Результаты экспериментов

№ эксп.	Дейкстра		А*		Кратчайший путь из датасета
	Путь	Затраченное время, мс	Путь	Затраченное время, мс	
1	24, 13, 4, 39, 42, 28	8,37	24, 13, 4, 39, 42, 28	1,60	24, 13, 4, 39, 42, 28
2	9, 59, 57, 65	0,30	9, 59, 57, 65	0,20	9, 59, 57, 65
3	30, 17, 33, 13, 39, 21	0,29	30, 17, 33, 13, 39, 21	0,19	30, 17, 33, 13, 39, 21
4	42, 58, 9, 23	0,21	42, 58, 9, 23	0,12	42, 58, 9, 23
5	18, 49, 29, 13	0,30	18, 49, 29, 13	0,16	18, 49, 29, 13
6	0, 8, 14	0,49	0, 8, 14	0,25	0, 8, 14
7	10, 25, 1, 21, 3, 19, 9	0,49	10, 25, 1, 21, 3, 19, 9	0,91	10, 25, 1, 21, 3, 19, 9
8	13, 31, 38	3,19	13, 15, 7, 10, 38	0,27	13, 31, 38
9	18, 32, 11	0,29	18, 32, 11	0,11	18, 32, 11
10	0, 7, 15, 27, 11, 24	0,18	0, 7, 15, 27, 11, 24	0,13	0, 7, 15, 27, 11, 24

Таблица 4. Среднее время

Метрика	Дейкстра	А*
Среднее время нахождения кратчайшего пути, мс	1,411	0,394

бы выбрать наиболее подходящий метод для конкретного применения.

Следовательно, можно утверждать, что проверяемая гипотеза верна.

Список литературы

1. Копылов, М.Д. Поиск кратчайших путей в транспортных сетях / М.Д. Копылов, К.А. Хохлов // StudNet. – 2021. – Т. 4. – № 5.
2. Султанова, А.Б. Сравнительный анализ алгоритмов поиска оптимального пути / А.Б. Султанова // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6. – № 12. – С. 248–255.
3. Изотова, Т.Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе. Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – № 19 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-algoritmov-poiska-kratchayshego-puti-v-grafe>.
4. Левитин, А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А.В. Левитин. – М. : Вильямс, 2006.
5. Изотова, Т.Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе / Т.Ю. Изотова // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – № 19.

References

1. Kopylov, M.D. Poisk kratchayshikh putey v transportnykh setyakh / M.D. Kopylov, K.A. Khokhlov // StudNet. – 2021. – Т. 4. – № 5.
2. Sultanova, A.B. Sravnitel'nyy analiz algoritmov poiska optimal'nogo puti / A.B. Sultanova //

Byulleten' nauki i praktiki. – 2020. – Т. 6. – № 12. – С. 248–255.

3. Izotova, T.YU. Obzor algoritmov poiska krachayshego puti v grafe. Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh. – 2016. – № 19 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-algoritmov-poiska-krachayshego-puti-v-grafe>.

4. Levitin, A.V. Algoritmy: vvedeniye v razrabotku i analiz / A.V. Levitin. – М. : Vil'yams, 2006.

5. Izotova, T.YU. Obzor algoritmov poiska krachayshego puti v grafe / T.YU. Izotova // Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh. – 2016. – № 19.

© С.В. Пальмов, И.С. Янгазов, Д.Д. Забалканский, 2025

УДК 378:004

А.А. САЛДАЕВА, В.Ю. БЕЛАШ

ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет
имени К.Э. Циолковского», г. Калуга

О РАЗРАБОТКЕ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Ключевые слова: бот; информационно-коммуникационные технологии (ИКТ); информационные технологии; образование; платформа; чат.

Аннотация. Цель проведенного исследования – проектирование и создание информационной системы образовательного назначения с использованием *web*-технологий. Гипотеза исследования состоит в повышении эффективности образовательного процесса и совершенствовании информационной компетентности обучающихся при использовании разработанного ресурса. Методы исследования: анализ учебной и научной литературы, компьютерное моделирование, абстрагирование. Достигнутые результаты: реализация образовательной платформы, которая позволит работать с учебными материалами неограниченному кругу лиц для повышения уровня знаний в области ИКТ в любое время.

В рамках исследования был проведен анализ существующих образовательных ресурсов, что позволило выявить их достоинства и недостатки. На основе проведенного анализа была разработана концепция собственного информационного образовательного ресурса. В процессе проектирования были определены функциональные и нефункциональные требования к системе, основные модули разрабатываемой информационной системы и выявлены требования при разработке к системе.

Чат-бот предназначен для автоматизированного тестирования пользователей в *Telegram*. Он оценивает уровень знаний, выявляет пробелы и формирует персонализированные рекомендации для дальнейшего обучения.

Бот автоматически проводит тестирование, активирует время ожидания на вопросы с помощью интерактивных кнопок. Вопросы

разделены на тематические блоки, что позволяет анализировать ошибки и выявлять слабые стороны. По завершении теста бот рассчитывает процент ошибок и предлагает рекомендации на их основе.

Взаимодействие с ботом понятно и не требует специальных навыков. Пользователь может в любой момент прекратить обновление или перезапустить его.

Бот написан на *Python* с использованием библиотеки *python-telegram-bot*. Для управления удобным диалогом применяется *ConversationHandler*, а для взаимодействия с пользователем используются кнопки *ReplyKeyboardMarkup*. Логика бота предусматривает пошаговое тестирование, анализ ответов и автоматическую генерацию рекомендаций.

Бот удобен для учебных заведений, где он может использоваться для промежуточного контроля знаний, а также для экономического обучения, оценки компетентности сотрудников и выбора тем для тренингов. Он полезен студентам и самообучающимся пользователям, помогая им проверять знания и получать персональные рекомендации.

Доступность в *Telegram* делает его комфортным, не требующим установки дополнительного программного обеспечения (ПО). Бот может быть адаптирован под различные тематики и интегрирован с образовательными платформами, что расширяет его возможности.

Чат-бот представляет собой эффективный инструмент администрирования навыков, позволяющий быстро оценить уровень знаний, выявить слабые места и предложить направления для дальнейшего обучения. Его универсальность делает его лидером как в образовательной сфере, так и в корпоративной.

Для большего понимания была разработана структурная схема, описывающая работу

чат-бота.

1. Старт
 - 1.1. Приветственное сообщение
 - 1.1.1. Вывод кнопки «Начать»
 - 1.1.2. Ожидание нажатия
 - 1.2. [Пользователь нажал «Начать»]
 - 1.2.1. Инициализация теста (обнуление счетчиков)
 - 1.2.2. Переход к первому вопросу
 - 1.3. Вывод вопросов (цикл)
 - 1.3.1. Вывод вопроса N с вариантами ответов (кнопки)
 - 1.3.2. Ожидание выбора ответа
 - 1.3.3. Проверка ответа
 - 1.3.3.1. Если отчет правильный, то +1 к счетчику правильных
 - 1.3.3.2. Если неправильный, то +1 к счетчику ошибок в соответствующем блоке
 - 1.3.4. Переход к следующему вопросу
 - 1.3.5. Повторение до окончания списка вопросов
 - 1.4. Завершение теста
 - 1.4.1. Подсчет результатов
 - 1.4.2. Вычисление процента правильных ответов
 - 1.4.3. Анализ ошибок по блокам
 - 1.4.4. Генерация рекомендаций (если в блоке > 2 ошибок)
 - 1.4.5. Вывод результатов теста и рекомендаций
 - 1.4.6. Завершение сессии
 - 1.5. Возможность выхода
 - 1.5.1. Прерывание теста
 - 1.5.2. Удаление временных данных
 - 1.5.3. Завершение сессии
- Приведем листинг некоторых функций бота:

```
# Функция для начала теста
def start(update, context):
    update.message.reply_text(
        "Привет! Давай начнем тест. Напиши 'Начать' для старта.",
        reply_markup=ReplyKeyboardMarkup([
            'Начать']], one_time_keyboard=True)
    )
    context.user_data['question_index'] = 0
    context.user_data['correct_answers'] = 0
    context.user_data['errors'] = [0, 0, 0] #
    Счетчики ошибок для каждого блока
    return ASKING
```

Функция для задания вопросов

```
def ask_question(update, context):
    question = questions_and_answers[context.
        user_data['question_index']][0]
    answer_options = questions_and_
        answers[context.user_data['question_index']][2]
    update.message.reply_text(
        question,
        reply_markup=ReplyKeyboardMarkup([
            answer_options], one_time_keyboard=True)
    )
    return ANSWERING
```

Функция для проверки ответов и подсчета ошибок по блокам

```
def check_answer(update, context):
    user_answer = update.message.text
    correct_answer = questions_and_
        answers[context.user_data['question_index']][1]
    block_index = context.user_data['question_
        index'] // 5 # Определяем индекс блока
```

Проверяем правильность ответа и увеличиваем счетчик правильных ответов или ошибок

```
if user_answer.lower() == correct_answer.
    lower():
    update.message.reply_text("Ответ пра-
        вильный ☐")
    context.user_data['correct_answers'] +=
        1
```

```
else:
    update.message.reply_text("Не правиль-
        но ☐")
```

```
context.user_data['errors'][block_index]
    += 1 # Увеличиваем счетчик ошибок для блока
```

Переходим к следующему вопросу или завершаем тест

```
context.user_data['question_index'] += 1
    if context.user_data['question_index'] <
        len(questions_and_answers):
        return ask_question(update, context)
    else:
```

```
return end_test(update, context) # Вы-
    зываем функцию для вывода результатов и ре-
    комендаций
```

Функция для вывода результатов и реко-
мендаций

```
def end_test(update, context):
    correct_answers = context.user_
        data['correct_answers']
    total_questions = len(questions_and_
```

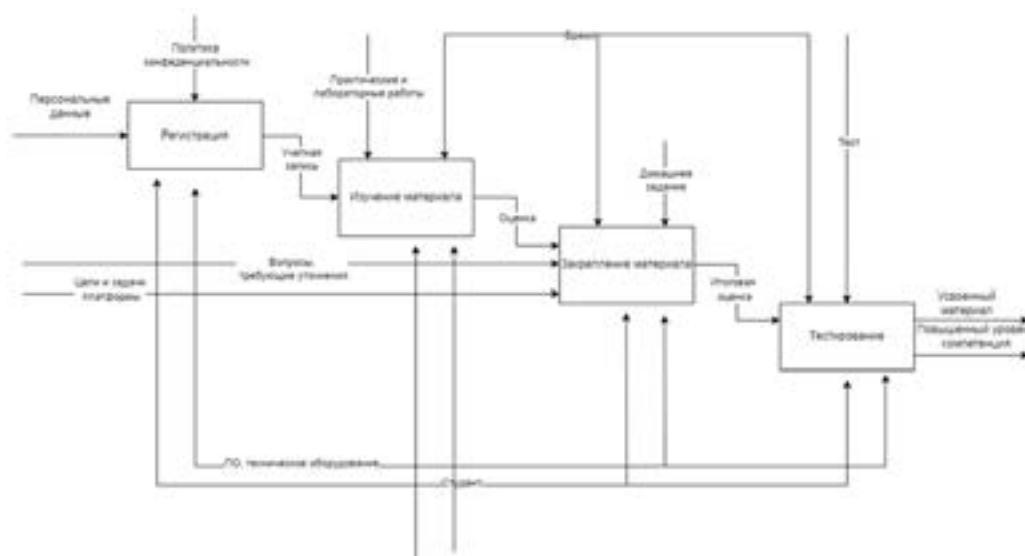


Рис. 1. Основной функционал платформы «ИКТ» в нотации IDEF0

```

answers)
    score = (correct_answers / total_questions)
    * 100
    recommendations = []
    for i, errors in enumerate(context.user_
data['errors']):
        if errors > 2:
            recommendations.
append(f"Рекомендуется пройти модуль {i +
1}")
            recommendations_text = "\n".
join(recommendations) if recommendations else
"Нет рекомендаций"
            update.message.reply_text(f"Поздравляю!
Тест пройден на {score}%. Твои рекомендации по
обучению на платформе: \n{recommendations_
text}")
    return ConversationHandler.END
    
```

Чат-бот создан на платформе Colab и подключен к сервису Telegram. Данный чат-бот использовался при реализации страницы «Тестирование» образовательной платформы «ИКТ». Функционал платформы достаточно объемный, выделим четыре основных этапа работы этого ресурса (рис. 1).

1. Все пользователи проходят регистрацию

на платформе, которая позволит закрепиться на курсе, а также преподавателю узнать о новом студенте.

2. После создания учетной записи можно пройти входное тестирование, определить, какие есть пробелы в знаниях, и приступить к изучению материала, который уже будет открыт для обучающегося. Процесс изучения включает в себя изучение небольшого раздела теории и выполнение лабораторных работ, по которым в дальнейшем будут выставлены оценки.

3. После обучения идет закрепление изученного материала и его отработка на домашнем задании, также имеется возможность задать уточняющие вопросы по пройденному материалу преподавателю.

4. После изучения тем предстоит пройти итоговое тестирование, которое покажет уровень знаний студента по ИКТ.

Гибкость и масштабируемость бота позволяют применять его в различных вариантах: образовательные учреждения могут использовать его для промежуточного контроля знаний, а компания – для оценки компетентности сотрудников. Интеграция с образовательными платформами открывает дополнительные возможности для расширения функционала.

Список литературы

1. Ларин, С.Э. Разработка и оптимизация пользовательского интерфейса мобильного справочника на платформе Android / С.Э. Ларин, В.Ю. Белаш // Наука и бизнес: пути развития. –

2024. – №11. – С. 24–26.

2. Паршукова, Н.Б. Проектирование и разработка образовательного портала: учебное пособие / Н.Б. Паршукова. – Челябинск : ЮУрГГПУ, 2020. – 129 с.

3. Титов, Е.К. Образовательные порталы как развитие сетевого образовательного пространства / Е.К. Титов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2020. – № 2(31). – С. 7–15.

References

1. Larin, S.E. Razrabotka i optimizatsiya pol'zovatel'skogo interfeysa mobil'nogo spravochnika na platforme Android / S.E. Larin, V.YU. Belash // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – №11. – S. 24–26.

2. Parshukova, N.B. Proyektirovaniye i razrabotka obrazovatel'nogo portala: uchebnoye posobiye / N.B. Parshukova. – Chelyabinsk : YUUrGGPU, 2020. – 129 s.

3. Titov, Ye.K. Obrazovatel'nyye portaly kak razvitiye setevogo obrazovatel'nogo prostranstva / Ye.K. Titov // Obrazovatel'nyye resursy i tekhnologii. – 2020. – № 2(31). – S. 7–15.

© А.А. Салдаева, В.Ю. Белаш, 2025

УДК 519.688

О.М. ТАРАСОВ

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

ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВЫ ПО РЯДУ НЕЗАВИСИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: метод анализа иерархий; многокритериальный выбор; оптимизированный выбор.

Аннотация. Цель исследования – определение возможности применения метода анализа иерархий (МАИ), предложенного Т. Саати (английский вариант *Analytic Hierarchy Process* – АНП), для оптимизированного выбора объекта, являющегося системой взаимосвязанных элементов.

Задачи исследования: сопряжение АНП с теорией матриц при введении исходных данных в рабочую программу оптимизации. Составление рекомендаций для формирования матриц парных сравнений как показателей (критериев) оптимизации, так и допустимых вариантов решений.

Гипотеза исследования: наличие возможности повышения точности многокритериального оптимизированного выбора из ряда альтернатив.

Методы получения результата: метод анализа иерархий Т. Саати, теория матриц.

Достигнутые результаты: сопряжение МАИ с теорией матриц, повышение точности оптимизированного многокритериального принятия решения.

Введение

В настоящее время становится все более популярной проблема оценки и принятия решений на основании противоречивых критериев (*Multi Criteria Decision Making* – MCDM). Среди многочисленных MCDM-методик часто используются оценка, основанная на удалении от среднего решения (*Evaluation based on*

Distance from Average Solution – EDAS), а также АНП. Также известна методика, совмещающая АНП и EDAS [5]. В последние годы появился ряд решений на основе MCDM для широкого спектра ИТ-задач (табл. 1) [5].

При значительных достижениях в области оптимизированного выбора было выявлено несколько проблем, которые могут быть решены в качестве будущих направлений для методов на основе АНП. Одним из способов повышения возможностей среды принятия решений и уменьшения проблем, связанных с информацией, является уменьшение влияния экстремальных и плохо обоснованных аргументов в исходной матрице принятия решений [5].

Другим важным направлением является распространение методов MCDM на нечеткие и недетерминированные среды с целью использования явных форм неопределенных суждений. Небинарные ранги предпочтений лиц, принимающих решения, также могут повысить надежность при подходах, основанных на предпочтениях [4]. Из-за сложности проблем принятия решений консолидация мнений лиц, принимающих решения, может быть очень полезна для повышения точности выбора альтернативы [10].

Большинство исследований в области принятия решений сосредоточено на неопределенности в информации, касающейся мнений лиц, принимающих решения; однако существует большой исследовательский пробел в рассмотрении неопределенности в среде принятия решений, поскольку методы MCDM в основном рассматривают детерминированную среду; однако реальные условия могут выходить далеко за рамки подобного упрощения. Поэтому существует необходимость рассмотрения сомнений лиц, принимающих решения, относительно будущих неопределенных событий с помощью различных методов, которые могут быть

Таблица 1. Основные источники

Ссылка	Задача	Перевод
[11, 12] <i>Srivastava et al.</i> (2020–2021 гг.)	<i>Evaluation of autonomous maintenance and transportation systems</i>	Оценка автономных систем обслуживания и транспортировки
[13] Дарко и Лян (2020 г.)	<i>Evaluation of mobile payment systems</i>	Оценка мобильных систем оплаты
[14] <i>Shrivathsan et al.</i> (2020 г.)	<i>Probabilistic linguistic test case prioritization</i>	Приоритизация вероятностного лингвистического теста
[15] <i>Tanwar et al.</i> (2020 г.)	<i>Network security assessment</i>	Оценка сетевой безопасности

интегрированы с методами *MCDM*, чтобы включить будущие неопределенные события и сомнения лиц, принимающих решения, в процесс принятия решений.

В статье определены возможности применения множественных критериев принятия решений (*MCDM*) в виде процесса аналитической иерархии (*AHP*) для сложных систем. Организация работы: после вводной части дается базовый математический фон *AHP*; следующие два раздела описывают оптимизированный алгоритм выбора альтернативы на основе *MCDM* и его возможную корректировку через шкалу абсолютных значений для включения силы суждений. *AHP* и матричная теория объединены для включения исходных данных в рабочее программное обеспечение для оптимизации. Автор делится некоторыми рекомендациями по составлению матриц парных сравнений как показателей (критериев) оптимизации, так и приемлемых решений.

Общая характеристика метода анализа иерархий (*AHP*)

Произведение оптимизированного многокритериального выбора из ряда заранее заданных допустимых решений (альтернатив) связано с оценкой их качества и ранжированием данных решений в зависимости от степени их пригодности. При этом оценка качества каждой альтернативы производится по заранее установленным независимым показателям (критериям) оптимизации (то есть оценочным характеристикам), достаточно часто вступающим во взаимное противоречие. Например, при покупке дома увеличение его размеров (положительная характеристика альтернативы) в большинстве случаев приводит к существенному увеличе-

нию цены (отрицательная характеристика).

Метод *AHP* представлен в трудах Тома-са Саати. Его базовые положения изложены в работе [1] и впоследствии дополнены в материалах [2] и [3]. В настоящее время оптимизированный выбор с использованием методики Т. Саати используется недостаточно широко. Значительно более популярна оптимизация на основании трудов В. Парето [4; 5 и др.]. При многих неоспоримых преимуществах, отличающих данный подход (апробированный математический аппарат, минимизация влияния лица, принимающего решение, и др.), методика Т. Саати также имеет свои существенные преимущества. Одним из них является сравнительная легкость решения задачи при достаточно большом (до 15) количестве показателей оптимизации, а также допустимых вариантов решения. Несложность математических расчетов дает возможность произведения оптимизированного выбора в максимально короткие сроки, что крайне важно в экстремальных условиях (например, при стихийных бедствиях).

Конечно, с увеличением числа оценочных характеристик, а также числа вариантов решений, снижается точность расчетов, поскольку возрастает влияние субъективности оценок на правильность принятия решения. Однако при числе показателей или возможных альтернатив, не превышающих число «десять», расчеты можно считать достаточно точными. Имеются способы контроля правильности оценок, производимых независимыми экспертами (определение степени несогласованности вводимых экспертами исходных данных, геометрическое усреднение мнений нескольких экспертов, метод проверки транзитивных троек элементов матриц попарных сравнений). Однако рассмотрение данных методик выходит за рамки на-

	X_1	X_2	.....	X_n
X_1	0	1	0	1
.....	0	0	0	0
X_n	1	0	0	0

Где $X_1, \dots, X_n$ – элементы системы

Рис. 1. Взаимодействующие элементы

стоящей статьи.

Если объект оптимизированного выбора, подлежащий оценке по ряду показателей, воспринимается как нечто единое и неделимое, то методика оптимизированного выбора не отличается от представленной в работах [1–3]. Однако при восприятии его как системы взаимосвязанных элементов необходимо входную информацию вводить в тело программы в виде логических матриц смежности, строки и столбцы которых означают взаимодействующие элементы (рис. 1). При этом взаимосвязь элементов обозначается как единица, а отсутствие взаимосвязи – как ноль, например.

Допустимо и более сложное отображение взаимодействия элементов, однако в этом случае уже нельзя использовать логическую матрицу. С учетом того, что изначальные данные вводятся в рабочую программу в виде квадратных матриц, рекомендуется для ее составления использовать язык программирования *MATLAB*, поскольку среда языка *MATLAB* ориентирована на работу с данными, представленными в виде матриц.

Отличительной особенностью предлагаемой методики является ее универсальность. Как в трудах самого Т. Саати, так и в других работах [6; 11], рассматриваются примеры коммерческого использования оптимизированного выбора. При этом рассматриваемый Т. Саати пример покупки дома включает как имеющие численное выражение показатели (например, его размеры или возраст), так и показатели оптимизации, не имеющие численного выражения (например, удобство использования транспорта или красота окрестностей).

Однако коммерческая сфера применения предложенного математического аппарата является далеко не единственной. В работах [7–9] рассматривается возможность сопряжения методики Т. Саати с теорией матриц и графов при оптимизированном выборе топологической структуры системы связи. Использо-

вались такие характеристики системы связи, как показатель связности, показатель достижимости, индекс центральности, показатель устойчивости системы и ряд других. Число показателей оптимизации варьировалось в пределах 10–15. Число альтернатив изменялось в пределах 3–4.

Подобный подход требует предварительного расчета значений тех показателей оптимизации, которые имеют численное выражение. Следует отметить, что использование по возможности максимального числа указанных оценочных характеристик увеличивает точность полученного ответа, поскольку оценки качества, не имеющие численного выражения, носят сугубо субъективный характер.

Алгоритм оптимизированного многокритериального выбора альтернативы по нескольким независимым показателям

1. Выбор показателей оптимизации, а также приемлемых альтернатив.
2. Расчет значений показателей, имеющих численное выражение.

При этом для оценки качества системы, включающей набор взаимосвязанных элементов, в качестве входных данных необходимо использовать матрицы смежности, определяющие взаимосвязь элементов. Оценка объекта, не являющегося системой, не предполагает введения матриц смежности.

3. Сравнение (в плане существенности) элементов промежуточного уровня (показателей оптимизации) по отношению к высшему уровню (цели).

Подобное сравнение осуществляется посредством составления матриц парных сравнений элементов последующего уровня по отношению к предыдущему с учетом приведенной Т. Саати шкалы абсолютных значений для оценки силы суждений [1; 3]. То есть составляется квадратная матрица, строки и столбцы

	I_1	I_2	.....	I_i	.....	I_n
I_1	1	I_1/I_2	.....	I_1/I_i	.....	I_1/I_n
.....						
I_n	I_n/I_1	I_n/I_2	.....	I_n/I_i	.....	1

Где $I_1, \dots, I_n$ – показатели оптимизации (от английского «indicator»)

Рис. 2. Шкала абсолютных значений

I_i	A_1	A_2	.....	A_i	.....	A_m
A_1	1	A_1/A_2	.....	A_1/A_i	.....	A_1/A_m
.....						
A_m	A_m/A_1	A_m/A_2	.....	A_m/A_i	.....	1

Где $A_1, \dots, A_m$ – допустимые альтернативы

Рис. 3. Сопоставление альтернатив

которой соответствуют оценочным характеристикам, а их сравнение (заполнение матрицы) производится на основании упомянутой выше шкалы (рис. 2). При этом главная диагональ матрицы заполняется единицами в силу равной значимости сопоставляемых элементов.

4. Оценка несогласованности матрицы парных сравнений показателей оптимизации.

Производится для определения возможной неточности оценок независимых экспертов и минимизации подобной неточности путем повторных оценок. Методика оценки несогласованности изложена, например, в работе [1].

5. Определение приближенных компонент ненормализованного вектора приоритетов показателей оптимизации путем перемножения элементов в каждой строке матрицы парных сравнений и извлечения корней степени, соответствующей порядку матрицы.

6. Деление каждой из компонент вектора приоритетов показателей оптимизации на их сумму (нормализация вектора приоритетов).

7. Подобно п. 3 производится сравнение между собой (в плане существенности) элементов нижнего уровня (альтернативы) по отношению к каждому элементу промежуточного уровня (показатели).

Составляются матрицы парных сравнений альтернатив для каждого показателя оптимизации. Число матриц соответствует числу показателей, а их порядок – числу альтернатив. Рис. 3 отражает сопоставление альтернатив для

показателя I_i .

8. Аналогично п. 4 оценивается несогласованность каждой матрицы парных сравнений альтернатив.

9. Аналогично п.п. 5 и 6 определяются компоненты ненормализованного вектора приоритетов альтернатив по каждому показателю, а также производится их нормализация (определяются локальные приоритеты альтернатив по каждому показателю).

10. Составляется матрица полученных локальных приоритетов, строки которой соответствуют альтернативам, а столбцы – показателям оптимизации.

11. По правилу умножения матрицы на вектор-столбец матрица локальных приоритетов умножается на определенный в п. 6 нормализованный вектор-столбец приоритетов показателей оптимизации.

Результат – вектор-столбец глобальных приоритетов, упорядочивающий множество альтернатив. Его максимальное значение – наиболее приемлемая альтернатива. Ранжирование остальных альтернатив – в соответствии с сопоставленным им десятичным числом. Сумма всех элементов вектор-столбца глобальных приоритетов равняется единице. Таким образом, число, сопоставляемое даже идеальному варианту решения, не может превысить единицу.

О необходимости некоторой корректировки метода анализа иерархий уже упоминалось ранее [6; 10]. С учетом многократного практи-

Таблица 2. Шкала предпочтений

Интенсивность относительной важности	Определение	Пояснения
1	Равная предпочтительность	Равнозначность двух объектов сравнения по отношению к цели
2	Слабая степень предпочтения	Между равным и средним предпочтением
3	Средняя степень предпочтения	Легкое превосходство одного объекта над другим
4	Предпочтение выше среднего	Между средним и умеренно сильным предпочтением
5	Умеренно сильное предпочтение	Явное превосходство одного объекта над другим
6	Сильное предпочтение	Между умеренно сильным и очень сильным предпочтением
7	Очень сильное (очевидное) предпочтение	Сильное превосходство, становящееся практически значимым (подтверждено практикой)
8	Очень, очень сильное предпочтение	Между очень сильным и абсолютным предпочтением
9	Абсолютное предпочтение	Превосходство одного объекта подтверждается неоспоримо
Обратные величины чисел		При изменении порядка сравнения получится обратная величина

ческого использования рассмотренного математического аппарата допускается представленная ниже возможность его незначительной корректировки.

Возможная корректировка шкалы абсолютных значений для оценки силы суждений

В несколько сокращенном виде шкалу предпочтений, представленную в работе [3], иллюстрирует табл. 2.

Из табл. 2 видно, что шкала предпочтений имеет нелинейный характер. Так, например, разница между позицией 2 (Слабая степень предпочтения) и позицией 3 (Средняя степень предпочтения) очевидно заметнее, чем между позицией 8 (Очень, очень сильное предпочтение) и позицией 7 (Очень сильное (очевидное) предпочтение). Кроме того, различие между позицией 8 (Очень, очень сильное предпочтение) и позицией 9 (Абсолютное предпочтение) также уловить достаточно сложно.

Таким образом, на предпочтения «ниже среднего» в таблице отводятся лишь две позиции, а на предпочтения «выше среднего» – шесть. Это может привести к необоснованному смещению большинства сравнений в «начало таблицы». Иными словами, первый и второй сравниваемые объекты находятся в неравном положении. Это можно скорректировать, когда они поменяются местами, однако не исключено негативное влияние подобной неоднозначности на объективность оценок. Поскольку объекты сравнения выбираются произвольно и взаимно независимы, кажется более логичным отнести среднюю степень предпочтения в центр таблицы, сопоставив ему число «5». Учитывая практический опыт, табл. 2 можно откорректировать, представив ее в упрощенном виде (табл. 3).

Также имеет смысл уменьшить число позиций, так как большое число оценочных единиц сложно для восприятия и не способствует точной оценке.

При составлении матриц парных сравне-

Таблица 3. Упрощенная шкала предпочтений

Интенсивность относительной важности	Определение	Пояснения
1	Равная предпочтительность	Равнозначность двух объектов сравнения по отношению к цели
3	Слабое предпочтение	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному объекту
5	Средне предпочтение	Опыт и суждения дают заметное превосходство одному объекту
7	Сильное предпочтение	Сильное превосходство, становящееся практически значимым
9	Абсолютное предпочтение	Очевидность превосходства подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8		Для компромиссных случаев
Обратные величины чисел		При изменении порядка сравнения получится обратная величина

ний рекомендуется с особым вниманием относиться к составлению матрицы парных сравнений показателей оптимизации. Это связано с тем, что количество оценочных характеристик, как правило, заметно больше числа альтернатив, которое обычно не больше трех-четырех. Поэтому порядок матрицы парных сравнений показателей почти всегда больше порядка матрицы парных сравнений альтернатив и, следовательно, существенно возрастает вероятность неточной оценки. Для ее минимизации желательно предварительно расположить оценочные характеристики строго в порядке возрастания (или убывания) их значимости и производить оценки предпочтений в соответствии с данным порядком. При этом каждую последующую оценку рекомендуется постоянно сопоставлять с предыдущими. Кроме того, желательно сразу же определить соотношение важности максимально и минимально предпочтительного объекта, то есть задать диапазон использования шкалы предпочтений (табл. 3).

Необходимо помнить, что если значимость объекта сравнения «А» соотносится со значимостью объекта сравнения «В», например, как 3, то «В» соотносится с «А» как 1/3. Таким образом заполненная матрица называется обратносимметричной. Обратная симметрия определяется относительно главной диагонали, заполненной единицами. Создается возможность заполнять только те элементы матрицы

парных сравнений, которые находятся над ее главной диагональю. Элементы под главной диагональю заполняются обратными величинами от соответствующих им элементов над главной диагональю.

Заключение

Трудно найти аналогичную методику оптимизированного выбора, где достаточно большое количество оценочных характеристик и вариантов решений (до 15) требовало бы настолько простых вычислений. Предложенный в данной работе подход позволяет получить решение в максимально короткие сроки. При этом для повышения точности выполняемых расчетов необходима некоторая коррекция шкалы абсолютных значений для оценки силы суждений.

Также желательна определенная коррекция значения порогового отношения согласованности матриц парных сравнений, указанного в работах [1; 3]. Согласно многочисленным практическим расчетам, значение отношения согласованности, равное 10 %, можно считать однозначно приемлемым лишь для матриц с относительно высоким порядком (8 и больше). Для матриц меньшего порядка желательно повторное проведение парных сравнений с целью уменьшения значения их отношения согласованности.

Одним из допустимых применений МАИ

является возможность произведения оптимизированного выбора в условиях, когда численные значения показателей оптимизации не определены однозначно, а имеют установленный диапазон отклонения. Тогда при нахождении наилучшего решения нужно учитывать минимальное и максимальное значения данного диапазона, и

решение оптимизационной задачи сопоставит каждой альтернативе не конкретную десятичную дробь, а определенный диапазон дробей, и при выборе наилучшего решения нужно будет уже сопоставлять не числа, а их диапазоны изменения. В данном случае допустимо использовать медианное значение диапазона.

Список литературы

1. Саати, Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1993.
2. Саати, Т. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Т. Саати // *Cloud of Science*. – 2015. – Т. 2. – № 1.
3. Саати, Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т. Саати ; пер. с англ. 2021.
4. Guo, Y.-N. Novel interactive preference-based multiobjective evolutionary optimization for bolt supporting networks / Y.-N. Guo, X. Zhang, D.-W. Gong, Z. Zhang, J.-J. Yang // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2019. – No. 24(4).
5. Torkayesh, A.E. A state-of-the-art survey of evaluation based on distance from average solution (EDAS): Developments and applications / A.E. Torkayesh [et al.] // *Expert systems with applications*. – 2023. – Vol. 221. – P. 119724.
6. Аналитическая иерархическая процедура Саати [Электронный ресурс]. – Режим доступа : gorskiy.ru/Articles/Dmss/AHP.html.
7. Соколов, Б.В. Комбинированные модели и алгоритмы многокритериального выбора структуры технической системы / Б.В. Соколов, Е.М. Зайчик, М.Ю. Охтилев, О.М. Тарасов // *Известия вузов. Приборостроение*. – СПб. – 2008. – Т. 51. – № 5.
8. Тарасов, О.М. К вопросу определения оптимальной топологической структуры системы связи. Региональная информатика «РИ-2014» / О.М. Тарасов, П.А. Кропотов // XIV Санкт-Петербургская международная конференция. – СПб, 2014.
9. Кирик, Д.И. Оптимизированное моделирование топологии телекоммуникационной сети / Д.И. Кирик, О.В. Кузнецова, О.М. Тарасов // *Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2014) : III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей, Санкт-Петербург, 25–26 февраля 2014 года*. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2014. – С. 134–139.
10. Tian, Y. ZE-numbers: a new extended Z-numbers and its application on multiple attribute group decision making / Y. Tian, X. Mi, Y. Ji, B. Kang // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 101, Article 104225.
11. Srivastava, P. Prioritizing autonomous maintenance system attributes using fuzzy EDAS approach / P. Srivastava, A. Mustafa, D. Khanduja, S.K. Chowdhary, N. Kumar, R.K. Shukla [et al.] // *Procedia Computer Science*. – 2020. – Vol. 168. – P. 11941–1949.
12. Srivastava, P. An intelligent framework for analyzing the feasible modes of transportation in metropolitan cities: A hybrid multicriteria approach / P. Srivastava, Z.J. Zhang, P. Eachempati, H. Lyu // *Journal of Advanced Transportation*, 2021.
13. Darko, A.P. Some qrung orthopair fuzzy hamacher aggregation operators and their application to multiple attribute group decision making with modified EDAS method / A.P. Darko, D. Liang // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2021. – No. 87. – P. 103259.
14. Shrivathsan, A. An integrated decision approach with probabilistic linguistic information for test case prioritization / A. Shrivathsan, R. Krishankumar, A.R.S. Mishra, K. Ravichandran, S. Kar, V. Badrinath // *Mathematics*. – 2020. – No. 8(11). – P. 1857.
15. Tanwar, S. Identifying the best network security using EDAS / S. Tanwar // *In 2020 10th*

International conference on cloud computing, data science & engineering IEEE, 2020. – P. 445–449.

References

1. Saati, T. Prinyatiye resheniy: Metod analiza iyerarkhiy / T. Saati; per. s angl. – M. : Radio i svyaz', 1993.
2. Saati, T. Ob izmerenii neosyazayemogo. Podkhod k otnositel'nyim izmereniyam na osnove glavnogo sobstvennogo vektora matritsy parnykh sravneniy / T. Saati // Cloud of Science. – 2015. – T. 2. – № 1.
3. Saati, T. Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskiye seti / T. Saati ; per. s angl. 2021.
4. Guo, Y.-N. Novel interactive preference-based multiobjective evolutionary optimization for bolt supporting networks / Y.-N. Guo, X. Zhang, D.-W. Gong, Z. Zhang, J.-J. Yang // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2019. – No. 24(4).
5. Torkayesh, A.E. A state-of-the-art survey of evaluation based on distance from average solution (EDAS): Developments and applications / A.E. Torkayesh [et al.] // Expert systems with applications. – 2023. – Vol. 221. – P. 119724.
6. Analiticheskaya iyerarkhicheskaya protsedura Saati [Electronic resource]. – Access mode : gorskiy.ru>Articles/Dmss/AHP.html.
7. Sokolov, B.V. Kombinirovannyye modeli i algoritmy mnogokriterial'nogo vybora struktury tekhnicheskoy sistemy / B.V. Sokolov, Ye.M. Zaychik, M.YU. Okhtilev, O.M. Tarasov // Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye». – SPb. – 2008. – T. 51. – № 5.
8. Tarasov, O.M. K voprosu opredeleniya optimal'noy topologicheskoy struktury sistemy svyazi. Regional'naya informatika «RI-2014» / O.M. Tarasov, P.A. Kropotov // XIV Sankt-Peterburgskaya mezhdunarodnaya konferentsiya. – SPb, 2014.
9. Kirik, D.I. Optimizirovannoye modelirovaniye topologii telekommunikatsionnoy seti / D.I. Kirik, O.V. Kuznetsova, O.M. Tarasov // Aktual'nyye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii (APINO 2014) : III Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya: sbornik nauchnykh statey, Sankt-Peterburg, 25–26 fevralya 2014 goda. – Sankt-Peterburg : Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet telekommunikatsiy im. prof. M.A. Bonch-Bruyevicha, 2014. – S. 134–139.

© O.M. Tapacov, 2025

УДК 004.056

И.С. ЖАРОВ¹, О.И. ДЕНИСЕНКО², С.Р. ЗЮГАНОВА¹

¹ФКОУ ВО «Владимирский юридический институт Федеральной службы исполнения наказаний России», г. Владимир;

²ФКОУ ВО «Самарский юридический институт Федеральной службы исполнения наказаний России», г. Самара

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ РАБОТЕ СПЕЦИАЛИСТОВ-КИНОЛОГОВ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ФСИН РОССИИ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ МВД РОССИИ

Ключевые слова: кликер; навигатор; технические средства; технические средства обучения; электронный ошейник.

Аннотация. Цель работы – провести анализ применения технических средств при работе специалистов-кинологов в учреждениях ФСИН России и подразделениях МВД России. Методы исследования: изучение источников информации, методы анализа, обобщения и сравнения. Выявлено, что перспективным направлением при дрессировке и тренировке служебных собак является использование технического средства – кликера. Предлагается проработать вопрос о внесении изменений в нормы положенности на технические средства, применяемые специалистами-кинологами в учреждениях ФСИН России и подразделениях МВД России.

В подразделениях органов внутренних дел Российской Федерации Министерства внутренних дел России (МВД) и учреждений Федеральной службы исполнения наказаний (ФСИН) широко применяются служебные собаки. Решающая роль в воспитании собак отведена методам дрессировки и тренировки, при этом номенклатура и нормы положенности имущества и снаряжения кинологовической службы влияют на эффективность и своевременность формирования нужных навыков у служебной собаки.

В документе [1] приведены нормы снабжения снаряжением для дрессировки и применения служебных собак в органах внутренних дел

Российской Федерации, в том числе в образовательных организациях МВД России, подготавливающих специалистов-кинологов для органов внутренних дел Российской Федерации. Так, особое внимание уделяется техническим (электронным) средствам: навигатору для собак, а также тренировочному (электронному) ошейнику. Срок эксплуатации данных средств составляет три года, при этом они отпускаются на центр кинологовической службы территориального органа МВД России окружного, межрегионального, регионального, районного уровней, на федеральное казенное учреждение «Центр кинологовического обеспечения Министерства внутренних дел Российской Федерации»; в образовательных организациях МВД России, подготавливающих специалистов-кинологов для органов внутренних дел Российской Федерации, – на учебную группу. Нормами снабжения предусмотрено и типовое снаряжение (парфорсы, намордники, шлейки, ошейники, поводки и др.), применяемые для дрессировки, тренировки служебных собак, однако значительными преимуществами как в эффективности обучения собак, так и в получении специалистами-кинологами практических навыков работы с собаками, будут обладать в первую очередь технические средства.

Электронный (радиоэлектронный) ошейник рекомендуется для дрессировки служебных собак, но данное устройство лучше использовать для коррекции поведения собаки, чем для дрессировки, и оно не является основным средством для дрессировки [6]. Электронные ошейники помогают обучать собак реагировать на

команды и избегать деструктивных действий, так как на электронном ошейнике располагаются специальные электроды, к которым с пульта дистанционно подается сигнал для выработки разных по значению электрических импульсов.

Навигаторы для собак позволяют обеспечить контроль над поведением служебных собак во время отработки отдельных приемов, при этом можно отслеживать скорость передвижения служебной собаки и пройденное расстояние. Навигаторы наиболее целесообразно использовать при отработке таких приемов, как следовая работа, обследование местности и помещений [6]. При этом электронные ошейники и навигаторы позволяют контролировать поведение служебной собаки на расстоянии.

При использовании технических средств в дрессировке служебных собак в учреждениях ФСИН России необходимо понимать, что технические средства обучения для оснащения специальных учебных полигонов образовательных организаций ФСИН России, осуществляющих подготовку кинологов для служб охраны и конвоирования уголовно-исполнительной системы, включают в себя электронный ошейник в количестве двух штук на учебный полигон [2]. При этом навигаторы для собак, как в случае с подразделениями МВД России, не предусмотрены как отдельный вид технических средств, применяемых для дрессировки (тренировки) собак в учреждениях ФСИН России. Однако в документе [2] приводится формула расчета потребности в необходимых технических средствах в зависимости от числа обучаемых, времени работы и других количественных, качественных единиц и коэффициентов.

Применение таких технических средств дрессировки (тренировки) служебных собак, как электронные ошейники и навигаторы, позволяет кинологам успешно справляться с задачами по обучению собаки. При этом их применение позволяет специалисту-кинологу изучить все особенности работы с отдельной служебной собакой.

Проанализировав нормы положенности данных технических средств для подразделений МВД России и учреждений ФСИН России, можно установить, что в обоих ведомствах вопросы обеспечения нормативно урегулированы с общих позиций, налицо единый подход в обеспечении данными средствами.

Помимо использования электронных ошей-

ников, для формирования условных рефлексов у собаки в настоящее время эффективно применяются и другие технические средства, а именно – кликеры, принцип действия которых основан на выдаче звукового сигнала после выполнения обучаемой собакой желаемого действия. Кликер достаточно компактный, размещается в руке, является удобным в использовании и имеет низкую стоимость. Кликер-дрессировка в последнее время стала достаточно популярной среди специалистов кинологических подразделений МВД России, бесконфликтное обучение с помощью кликера основано на поощрении желаемого поведения собаки и игнорировании нежелательного поведения без какого-либо наказания [6].

Проведенные в 2019–2020 гг. исследования в условиях кинологических подразделений ФСИН России показали, что использование метода кликер-дрессировки увеличивает скорость образования условных рефлексов по сравнению с традиционными методами дрессировки [7]. Однако в учреждениях ФСИН России этот метод пока не применяется. При дрессировке специальных собак по поиску и обнаружению наркотических средств, психотропных веществ, взрывчатых веществ, взрывных устройств, оружия и боеприпасов можно использовать кликер, т.к. данные собаки работают по индивидуальному плану, что позволяет им работать с кликером. Если же рассматривать дрессировку и тренировку служебных собак по розыскному профилю, то тут возникают сложности, так как чаще всего данные собаки занимаются группами и звук кликера сбивает собаку [8]. В учреждениях ФСИН России подобная методика применима к щенкам и подросткам для подготовительных приемов и некоторых приемов из общего курса дрессировки: подход к специалисту-кинологу, посадка, стояние, укладка, движение рядом со специалистом-кинологом [5].

В нормах положенности снаряжением для дрессировки и применения служебных собак, применяемых специалистами-кинологами в учреждениях ФСИН России и подразделениях МВД России, есть эффективные технические средства (электроошейники и навигаторы для собак), упрощающие процесс обучения собаки. В настоящее время достаточно перспективным направлением дальнейшего совершенствования методик дрессировки и тренировки служебных собак с использованием технических средств (как в учреждениях ФСИН России, так и в под-

разделениях МВД России) является применение кликера, что позволяет сократить время обучения отдельных категорий служебных собак. Нужно взять опыт Федеральной таможенной службы и Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации, где в нормах снабжения снаряжением для дрессировки и применения служебных собак [3; 4] есть кликер со сроком полезного использования один год. Данное мероприятие возможно

осуществить после проработки вопроса о внесении изменений в нормы положенности на технические средства, применяемые специалистами-кинологами в учреждениях ФСИН России и подразделениях МВД России. При этом оптимальное соотношение традиционных методов обучения и передовых технических средств позволит повысить уровень подготовки служебных собак и их эффективность в выполнении поставленных задач.

Список литературы

1. Приказ МВД России от 27.12.2019 № 979 «Об утверждении правил и норм снабжения имуществом, снаряжением и предметами ухода для содержания, дрессировки и применения служебных животных в органах внутренних дел Российской Федерации».
2. Приказ ФСИН РФ от 07.06.2005 № 413 «Об утверждении норм положенности технических средств обучения в системе профессионального образования сотрудников уголовно-исполнительной системы».
3. Приказ ФТС России от 31.05.2022 № 421 «Об утверждении Правил определения нормативных затрат на обеспечение функций ФТС России, территориальных таможенных органов Российской Федерации, представительств (представителей) таможенной службы Российской Федерации в иностранных государствах и учреждений, находящихся в ведении ФТС России».
4. Распоряжение Росгвардии от 29.07.2022 № 1/1239-Р «Об утверждении Нормативных затрат на обеспечение функций Росгвардии в части закупок товаров, работ и услуг».
5. Заболотнева, А.В. Дрессировка собак с кликером / А.В. Заболотнева // Актуальные проблемы собаководства в правоохранительных структурах и перспективы служебного собаководства – 2024 : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 14 ноября 2024 года. – Пермь : Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний, 2024. – С. 31–33.
6. Использование технических средств при работе со служебной собакой / С.Г. Шишкалов, С.А. Потемкин, А.В. Диденко, А.В. Кирсанов, А.А. Яковенко, Е.М. Дрей; под ред. А.В. Савенкова. – Ростов-на-Дону : ФГКУ ДПО «РШ СРС МВД России», 2017. – 56 с.
7. Попцова, О.С. Влияние различных методов дрессировки на степень закрепления условных рефлексов у собак служебных пород / О.С. Попцова, Т.В. Шеремета, Е.А. Щербакова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 244. – № 4. – С. 148–152.
8. Спасова, В.В. Кликер – дрессировка служебных собак / В.В. Спасова // Пермский период : Сборник материалов IX Международного научно-спортивного фестиваля курсантов и студентов образовательных организаций. В 3-х томах, Пермь, 16–20 мая 2022 г. / Сост. А.И. Согрина. Том 3. – Пермь : Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний, 2022. – С. 130–133.

References

1. Prikaz MVD Rossii ot 27.12.2019 № 979 «Ob utverzhdenii pravil i norm snabzheniya imushchestvom, snaryazheniyem i predmetami ukhoda dlya soderzhaniya, dressirovki i primeneniya sluzhebnykh zhivotnykh v organakh vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii».
2. Prikaz FSIN RF ot 07.06.2005 № 413 «Ob utverzhdenii norm polozhennosti tekhnicheskikh sredstv obucheniya v sisteme professional'nogo obrazovaniya sotrudnikov ugovovno-ispolnitel'noy sistemy».
3. Prikaz FTS Rossii ot 31.05.2022 № 421 «Ob utverzhdenii Pravil opredeleniya normativnykh zatrat na obespecheniye funktsiy FTS Rossii, territorial'nykh tamozhennykh organov Rossiyskoy

Federatsii, predstavitel'stv (predstaviteley) tamozhennoy sluzhby Rossiyskoy Federatsii v inostrannykh gosudarstvakh i uchrezhdeniy, nakhodyashchikhsya v vedenii FTS Rossii».

4. Rasporyazheniye Rosgvardii ot 29.07.2022 № 1/1239-R «Ob utverzhdenii Normativnykh zatrat na obespecheniye funktsiy Rosgvardii v chasti zakupok tovarov, rabot i uslug».

5. Zabolotneva, A.V. Dressirovka sobak s klikerom / A.V. Zabolotneva // Aktual'nyye problemy sobakovodstva v pravookhranitel'nykh strukturakh i perspektivy sluzhebnoy sobakovodstva – 2024 : sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Perm', 14 noyabrya 2024 goda. – Perm' : Permskiy institut Federal'noy sluzhby ispolneniya nakazaniy, 2024. – S. 31–33.

6. Ispol'zovaniye tekhnicheskikh sredstv pri rabote so sluzhebnoy sobakoy / S.G. Shishkalov, S.A. Potemkin, A.V. Didenko, A.V. Kirsanov, A.A. Yakovenko, Ye.M. Drey; pod red. A.V. Savenkova. – Rostov-na-Donu : FGKU DPO «RSH SRS MVD Rossii», 2017. – 56 s.

7. Poptsova, O.S. Vliyaniye razlichnykh metodov dressirovki na stepen' zakrepleniya uslovnykh reflektov u sobak sluzhebnykh porod / O.S. Poptsova, T.V. Sheremeta, Ye.A. Shcherbakova // Uchenyye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana. – 2020. – T. 244. – № 4. – S. 148–152.

8. Spasova, V.V. Kliker – dressirovka sluzhebnykh sobak / V.V. Spasova // Permskiy period : Sbornik materialov IX Mezhdunarodnogo nauchno-sportivnogo festivalya kursantov i studentov obrazovatel'nykh organizatsiy. V 3-kh tomakh, Perm', 16–20 maya 2022 g. / Sost. A.I. Sogrina. Tom 3. – Perm' : Permskiy institut Federal'noy sluzhby ispolneniya nakazaniy, 2022. – S. 130–133.

© И.С. Жаров, О.И. Денисенко, С.Р. Зюганова, 2025

УДК 004.056

Г.Ф. ШИПУЛИН, В.Д. ЯКОВЛЕВА, Д.А. ПОТАПОВА, И.Г. ВАТУТИН
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ БЛОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ И КОДОВ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Ключевые слова: блочное шифрование; информационная безопасность; коды исправления ошибок; криптографическая защита; надежность передачи данных.

Аннотация. В статье показана актуальность вопросов применения средств криптографической защиты в контексте обеспечения защиты передаваемых данных. Целью работы является анализ эффективности комбинированного применения алгоритмов блочного шифрования и кодов исправления ошибок с целью повышения надежности передачи данных. Гипотеза исследования предполагает, что проблемы надежности передачи данных зачастую обусловлены внешними факторами (электромагнитные помехи, ошибки оборудования и др.). Совмещение методов блочного шифрования с кодами коррекции ошибок обеспечивает как защиту данных при передаче, так и возможность их восстановления при возникновении ошибок. Основные задачи включают в себя анализ существующих методов блочного шифрования и их влияния на степень защищенности данных, исследование свойств и возможностей кодов с исправлением ошибок и оценку эффективности комбинированного подхода с использованием алгоритмов блочного шифрования и кодов исправления ошибок в различных сценариях передачи данных. Полученные результаты в рамках проведенного эксперимента о возможности и эффективности применения комбинированного подхода указывают на снижение потери полезной информации в канале передачи данных при применении кода исправления ошибок перед шифрованием, увеличение средней скорости передачи информации, а также на по-

вышение устойчивости системы к атакам типа «анализ ошибок». Методами исследования являются синтез и анализ применения средств криптографической защиты при передаче данных.

Блочное шифрование данных представляет собой метод криптографической защиты данных, при котором исходное сообщение разбивается на блоки фиксированного размера (64, 128 или 256 бит), и каждый блок шифруется независимо или в зависимости от предыдущих блоков [1]. При этом используется секретный ключ, который должен быть известен как отправителю, так и получателю.

Блочное шифрование повсеместно применяется в системах передачи данных, где требуется применение шифрования. К наиболее популярным и криптостойким алгоритмам блочного шифрования относятся *AES*, *DES*, *3DES*.

Коды исправления ошибок (*Error Correction Codes – ECC*) представляют собой математический метод защиты данных, основанный на добавлении избыточности, что позволяет обнаруживать и исправлять ошибки. К каждому блоку данных добавляются проверочные биты, которые зависят от содержания исходного блока [2]. При получении данных приемник анализирует проверочные биты и обнаруживает или исправляет ошибки.

В блоковых кодах данные делятся на фиксированные блоки, каждый из которых дополняется проверочной информацией. Наиболее распространенными кодами данного класса являются код Хэмминга и код Рида – Соломона.

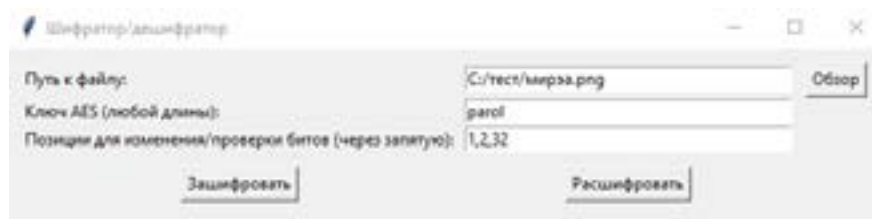


Рис. 1. Ввод данных

Сверхточные коды работают с потоками данных, непрерывно добавляя избыточность, примером сверхточного кода является турбокод [3].

К преимуществам использования кодов исправления ошибок относятся возможность восстановления данных без повторной передачи, увеличение надежности, широкая применимость в телекоммуникационной, космической и военной промышленности [4]. К недостаткам – низкая пропускная способность ввиду увеличения объема передаваемых данных, необходимость дополнительных вычислительных ресурсов на этапах кодирования и декодирования.

Коды с исправлением ошибок широко применяются в системах связи, в которых повторная отправка данных невозможна или нежелательна, например, в системах космической связи, мобильных сетях, а также в системах хранения данных (оптические и магнитные носители информации).

Блочное шифрование и коды исправления ошибок решают разные задачи, и их совместное применение может значительно повысить безопасность передачи данных. Использование алгоритмов блочного шифрования обеспечивает конфиденциальность данных, защищая их от несанкционированного доступа, а применение кодов исправления ошибок позволяет сохранять целостность данных [5].

Однако интеграция блочного шифрования и кодов исправления ошибок сопровождается рядом сложностей:

- сохранение целостности шифрованных данных (коды исправления ошибок работают с избыточной информацией, которая может влиять на структуру зашифрованных данных);
- увеличение вычислительной нагрузки (совместное применение двух методов требует больше вычислительных ресурсов);
- выбор оптимальных алгоритмов (необ-

ходимо учитывать совместимость алгоритмов шифрования и кодов исправления ошибок).

В рамках исследования был проведен эксперимент с выполнением программной реализации алгоритма шифрования и кода исправления ошибок. Наиболее простым способом комбинированного способа применения обоих методов является последовательное применение кода исправления ошибок, а затем алгоритма блочного шифрования. На исходные данные накладываются проверочные биты, после модифицированные данные шифруются. При получении зашифрованных данных сначала выполняется расшифрование, а затем – проверка целостности и исправление ошибок.

Предлагается оценивать эффективность комбинированного использования алгоритмов блочного шифрования и кодов исправления ошибок по следующим параметрам:

- уровень безопасности (сложность атак на зашифрованные данные);
- устойчивость к помехам (способность исправлять ошибки при сохранении структуры данных);
- производительность (время обработки данных и объем вычислительных ресурсов);
- пропускная способность (соотношение полезной информации к избыточным данным).

Реализованное программное средство для выполнения эксперимента использует алгоритм блочного шифрования *AES* и содержит следующий функционал: пользовательский интерфейс; (рас)шифрование данных; задание (проверка) битов восстановления; проверка целостности данных.

Опишем процесс работы со смоделированным программным средством. Сначала пользователь выбирает через графический интерфейс программного средства файл для шифрования, указывает ключ *AES* и позиции битов для изменения (рис. 1).

После начала выполнения преобразований

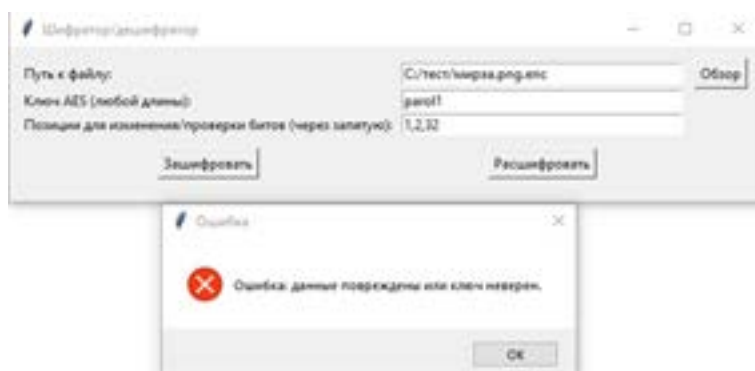


Рис. 2. Пользователь ввел неверный ключ

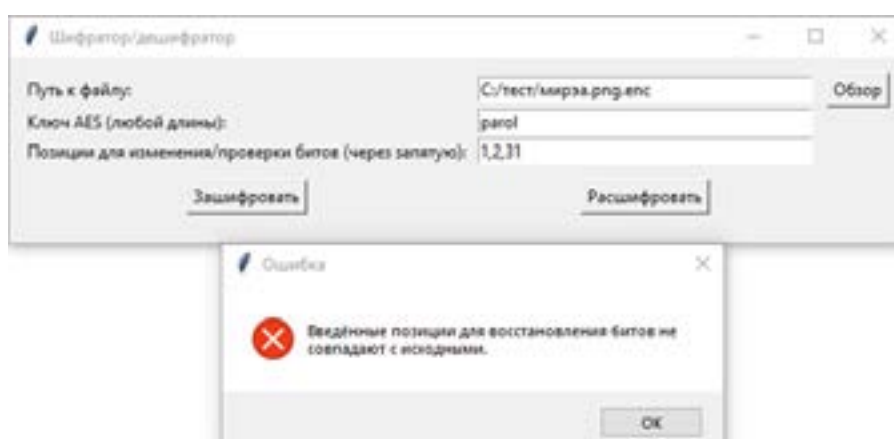


Рис. 3. Пользователь ввел неверные позиции для проверки битов

над исходным файлом программа преобразует ключ в формат *AES-128*, обрезая или дополняя его до 16 байт, вычисляет хэш (*SHA-256*) исходных данных для проверки их целостности и изменяет указанные пользователем биты в данных.

Далее измененные данные подлежат шифрованию с использованием алгоритма *AES-128* в режиме *ECB*, добавляются метаданные с позициями измененных битов в начало зашифрованного файла, после файл сохраняется с расширением «.enc».

Для обратного преобразования пользователь выбирает зашифрованный файл, вводит ключ *AES* и указывает предполагаемые позиции битов для восстановления. Программа преобразует ключ в формат *AES-128*, считывает метаданные из начала файла с расширением «.enc» для получения сохраненных позиций измененных битов. После этого сравниваются введенные пользователем позиции с сохраненными,

если позиции совпадают, то программа продолжает работу; если же позиции не совпадают, программа генерирует ошибку с выводом на экран (рис. 2).

Далее программа расшифровывает данные, восстанавливает измененные биты на основе сохраненных позиций и проверяет целостность данных с помощью хэша (*SHA-256*). Если хэш не совпадает (например, введен неправильный ключ), программа генерирует ошибку (рис. 3). При успешном завершении работы восстановленный файл сохраняется с исходным именем.

Стоит отметить, что особенность программной реализации также состоит в сохранении позиций измененных битов внутри зашифрованного файла (.enc) в виде метаданных, отдельный файл для хранения позиций не требуется.

В результате проведения эксперимента определено, что применение кода исправления ошибок перед шифрованием позволяет снизить

потери полезной информации в канале передачи данных, увеличить среднюю скорость передачи информации за счет уменьшения повторных запросов данных, повысить устойчивость системы к атакам типа «анализ ошибок».

Таким образом, применение алгоритмов блочного шифрования и кодов исправления

ошибок в совокупности позволяет обеспечивать целостность, доступность и конфиденциальность передаваемых данных. Несмотря на сложность интеграции, комбинированные подходы также являются эффективными в условиях ограниченности ресурсной базы и высокого уровня помех.

Список литературы

1. Брусянин, В.А. Алгоритмы блочного шифрования: принципы работы и применение / В.А. Брусянин, А.Ю. Еременко, В.И. Фролов // Вестник информационной безопасности. – 2018. – № 4. – С. 15–28.
2. Кашников, В.В. Коды с исправлением ошибок и их применение в цифровых системах связи / В.В. Кашников, И.А. Дмитриев // Радиотехника. – 2020. – № 2. – С. 45–53.
3. MacWilliams, F.J. The Theory of Error-Correcting Codes / F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane. – Amsterdam : North-Holland, 1977. – 762 p.
4. Bose, R. Error Control Coding: Fundamentals and Applications / R. Bose, S. Lin. – Prentice Hall, 1983. – 608 p.
5. Wang, Y. Efficient Implementation of Hybrid Encryption with Error Correction Codes for Secure Data Transmission / Y. Wang, J. Zhang, W. Chen // IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2021.

References

1. Brusyanin, V.A. Algoritmy blochnogo shifrovaniya: printsipy raboty i primeneniye / V.A. Brusyanin, A.YU. Yeremenko, V.I. Frolov // Vestnik informatsionnoy bezopasnosti. – 2018. – № 4. – S. 15–28.
2. Kashnikov, V.V. Kody s ispravleniyem oshibok i ikh primeneniye v tsifrovykh sistemakh svyazi / V.V. Kashnikov, I.A. Dmitriyev // Radiotekhnika. – 2020. – № 2. – S. 45–53.
3. MacWilliams, F.J. The Theory of Error-Correcting Codes / F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane. – Amsterdam : North-Holland, 1977. – 762 p.
4. Bose, R. Error Control Coding: Fundamentals and Applications / R. Bose, S. Lin. – Prentice Hall, 1983. – 608 p.

© Г.Ф. Шипулин, В.Д. Яковлева, Д.А. Потапова, И.Г. Ватулин, 2025

УДК 004.94

С.П. ЛЫСЫЙ, О.В. СНЕЖКИНА, В.С. ШВЕДОВА

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза

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

Ключевые слова: графический редактор; смещенная плоскость; чертеж; эскиз; 3D-модель.

Аннотация. Цель данной статьи заключается в повышении уровня практических навыков студентов при разработке 3D-моделей технических изделий в графическом редакторе Компас-3D на занятиях по инженерной и компьютерной графике. Основные задачи исследования: освоить практические приемы работы с программой; разработать 3D-модели изделий в Компас-3D по исходным чертежам; проанализировать ошибки, допущенные при выполнении заданий. В работе было выдвинуто предположение о том, что в рамках проведения практических занятий студенты смогут повысить уровень своей подготовки, проанализировать графические работы других участников, минимизировать ошибки при разработке 3D-моделей технических изделий. При выполнении исследования применялись теоретические методы, основанные на принципах классической механики, математического анализа, синтеза, моделирования и др. По результатам проведения практических занятий студентами были освоены приемы работы с графическим редактором, по исходным чертежам разработаны 3D-модели изделий в Компас-3D, проанализированы ошибки, допущенные при выполнении заданий. Анализ гистограммы результатов проведения практических занятий показал, что при разработке 3D-моделей технических изделий № 1–3 усредненный показатель качества выполнения заданий разной степени сложности повысился с 80 до 92 %.

Создание чертежей и 3D-моделей всегда

остается неотъемлемой частью работы инженеров. Трехмерное моделирование играет важную роль в современном мире и позволяет инженерам создавать различные виды технических изделий, механизмов, машин, строительных сооружений и др.

Для выполнения графических работ нами была выбрана программа Компас-3D, обладающая понятным, легким интерфейсом, достаточным функционалом и возможностью трехмерного моделирования. При разработке 3D-модели технического изделия № 1 (рис. 1) студентами было выполнено семь эскизов. В работе применялись операции «Элемент выдавливания» и «Вырезать выдавливанием» [1–6].

Для разработки 3D-модели технического изделия № 2 (рис. 2) студентами было выполнено восемь эскизов. В работе применялись операции «Элемент выдавливания», «Вырезать выдавливанием» и «Смещенная плоскость».

При разработке 3D-модели технического изделия № 3 (рис. 3) студентами было выполнено девять эскизов. В работе применялись операции «Элемент выдавливания», «Вырезать выдавливанием», «Смещенная плоскость» и «Придать толщину».

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

Анализ гистограммы результатов проведения практических занятий по инженерной и компьютерной графике показал, что при разработке 3D-моделей технических изделий № 1–3 усредненный показатель качества выполнения заданий разной степени сложности повысился



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

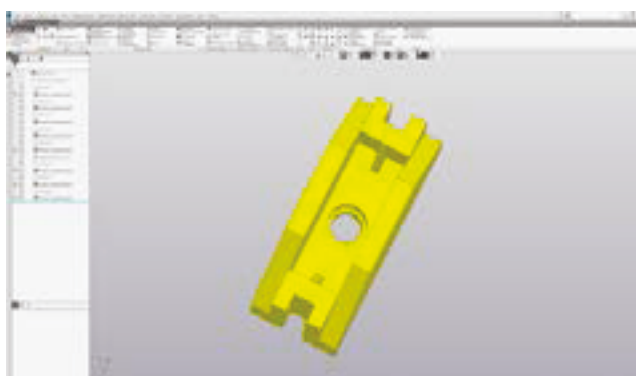


Рис. 2. 3D-модель технического изделия № 2

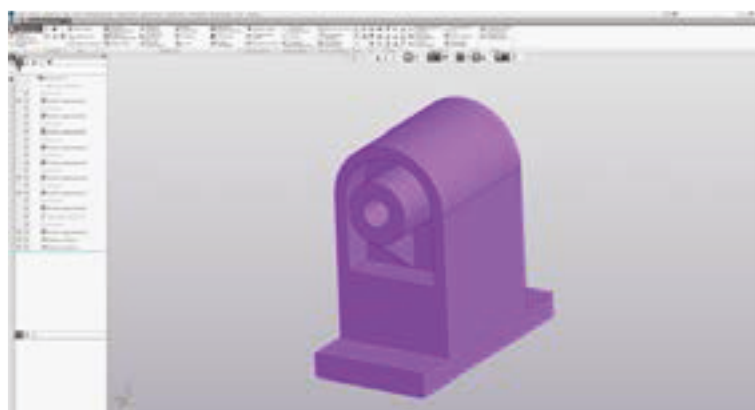


Рис. 3. 3D-модель технического изделия № 3

с 80 до 92 %. Студенты смогли выполнить графические работы и показать хорошие результаты. Однако в работах при выполнении некоторых сложных операций студентами были допущены незначительные ошибки, которые привели к снижению данного показателя.

Вышеизложенный материал позволит студентам повысить уровень своих практических навыков, а при постоянной работе в графическом редакторе – улучшить качество разработки 3D-моделей технических изделий до 100 %.

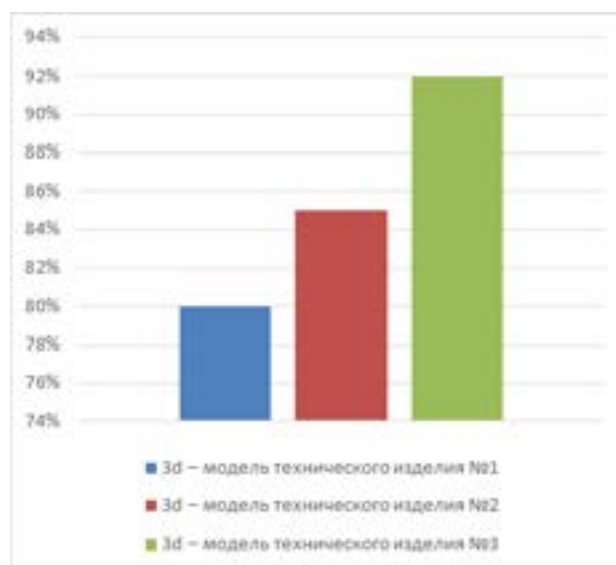


Рис. 4. Гистограмма результатов проведения практических занятий

Список литературы

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

References

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

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

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

© С.П. Лысый, О.В. Снежкина, В.С. Шведова, 2025

УДК 621.6

Н.А. ХИСАМОВ¹, М.Г. БАШИРОВ², О.И. НЕДЕЛЬЧЕНКО¹

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа;

²Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават

ДИАГНОСТИКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Ключевые слова: диагностика; компрессорное оборудование; модернизация конструкции; мониторинг в реальном времени; центробежные насосы; частотно-регулируемый электропривод.

Аннотация. В работе рассматривается комплексный подход к диагностике центробежного насосно-компрессорного оборудования с частотно-регулируемым электроприводом, который играет ключевую роль в обеспечении надежной и эффективной работы нефтеперекачивающих станций. Цель статьи заключается в разработке и внедрении современных методов диагностики и обслуживания насосно-компрессорного оборудования, направленных на повышение его надежности, эффективность эксплуатации и снижение затрат. Основными задачами являются анализ существующих подходов к диагностике и обслуживанию оборудования, исследование факторов, влияющих на его работоспособность, а также разработка комплексных решений, учитывающих современные технологические возможности.

В статье анализируются различные методы диагностики, такие как модернизация конструкции насоса для снижения шума и вибраций, использование мониторинга состояния оборудования в реальном времени, регулярный мониторинг насосов и их электроприводов в сложных условиях эксплуатации, разработка специализированных процедур очистки от асфальтосмолопарафиновых отложений и применение алгоритмов машинного обучения для оценки технического состояния объектов трубопроводного транспорта. Особое внимание уделяется влиянию человеческого фактора и необходимости постоянного обучения пер-

сонала. Результаты исследования показывают, что комплексное применение этих методов позволяет значительно повысить точность диагностики, увеличить срок службы оборудования, снизить затраты на его эксплуатацию и обслуживание, а также минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций.

Современные промышленные комплексы и технологические процессы в таких отраслях, как энергетика, нефтегазовая промышленность, химическое производство и водоподготовка, в значительной степени зависят от надежности и эффективности центробежного насосно-компрессорного оборудования. Эти агрегаты обеспечивают транспортировку жидкостей и газов, поддержание давления в системах и выполнение критически важных операций, от которых напрямую зависит бесперебойность производственных циклов. Внедрение частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП) стало ключевым шагом в оптимизации работы такого оборудования, поскольку они позволяют гибко управлять скоростью вращения двигателей, снижая энергопотребление и минимизируя механические нагрузки. Однако интеграция ЧРП в систему привела к усложнению динамических процессов, связанных с изменением частоты тока, нелинейными гармоническими искажениями и дополнительными электромагнитными воздействиями, что существенно повлияло на традиционные подходы к диагностике. Классические методы мониторинга, основанные на анализе вибрации, температурных режимов или параметров давления, зачастую оказываются недостаточно эффективными в условиях пере-

менной частоты вращения и нестационарных режимов работы. Это связано с тем, что характеристики износа, усталости материалов или дисбаланса роторных систем в сочетании с ЧРП проявляются иначе, требуя адаптации диагностических алгоритмов. Например, гармонические составляющие в токе статора электродвигателя, вызванные частотным преобразователем, могут маскировать признаки дефектов подшипников или обмоток, а переменная скорость затрудняет интерпретацию спектров вибрации. В этой связи возникает необходимость в разработке комплексных методик, объединяющих анализ электрических, механических и тепловых параметров, а также применение интеллектуальных систем обработки данных, способных выделять аномалии в условиях нестационарности. Современные исследования в области диагностики направлены на интеграцию методов машинного обучения, таких как нейронные сети и алгоритмы классификации, с физико-математическими моделями, описывающими взаимодействие частотного преобразователя, электродвигателя и гидравлической части оборудования. Это позволяет не только обнаруживать уже возникшие неисправности, но и прогнозировать остаточный ресурс узлов, оптимизируя графики технического обслуживания. Кроме того, особое внимание уделяется разработке встроенных систем мониторинга, которые в реальном времени анализируют параметры работы агрегатов, минимизируя риск аварийных остановок. Реализация таких подходов требует глубокого понимания как особенностей центробежных машин, так и специфики работы ЧРП, что делает данное направление междисциплинарным и высокотехнологичным.

Важность диагностики заключается в том, что она позволяет своевременно выявлять возможные неисправности и предупреждать аварийные ситуации, которые могут привести к значительным материальным потерям и даже угрозе для жизни персонала на объектах нефтеперекачивающих станций. Специалисты уделяют особое внимание снижению уровня шума и вибраций, поскольку эти параметры напрямую влияют на срок службы оборудования и его производительность (не совсем корректно, т.к. шум и вибрация являются производными от технического состояния, а не наоборот) [1]. Разработка мероприятий по уменьшению уровня шума и вибраций является одной из ключевых задач при диагностике центробежных насосов.

Н.Н. Доля предлагает комплексное решение этой проблемы, включающее как модернизацию конструкции насоса, так и применение современных технологий шумоподавления и виброизоляции [1].

В контексте систем управления и защиты реакторных установок также можно найти полезные подходы к диагностике насосно-компрессорного оборудования. Исследования Е.А. Абидовой и ее коллег показывают, что диагностика привода системы управления и защиты может быть успешно адаптирована для применения в других отраслях, включая нефтегазовую промышленность [2]. В частности, они предлагают использовать методы мониторинга состояния оборудования в реальном времени, что позволяет оперативно выявлять малейшие отклонения от нормального режима работы. Это особенно важно для центробежных насосов, работающих в условиях высоких нагрузок и экстремальных температур.

Повышение эффективности эксплуатации скважин, оборудованных установками электроцентробежного насоса, является еще одной важной областью исследования, которая тесно связана с диагностикой насосно-компрессорного оборудования. Н.А. Семенов в своей работе рассматривает различные аспекты эксплуатации таких установок в осложненных условиях, таких как высокая вязкость нефти, наличие механических примесей и коррозионная активность среды [3]. Он подчеркивает необходимость регулярного мониторинга состояния насосов и их электроприводов, что позволяет своевременно выявлять и устранять потенциальные проблемы до того, как они приведут к серьезным поломкам. В условиях аномального содержания асфальтосмолопарафиновых отложений, как отмечает Э. Атаниязов, эффективность эксплуатации насосов значительно снижается, что требует разработки специализированных диагностических процедур и методов очистки оборудования [4].

Современные технологии диагностики насосно-компрессорного оборудования все чаще опираются на использование машинного обучения и искусственного интеллекта. А. Сираева в своем исследовании демонстрирует, как алгоритмы машинного обучения могут быть использованы для оценки технического состояния объектов трубопроводного транспорта, что открывает новые горизонты для применения этих методов в нефтегазовой отрасли [5].

Таблица 1. Методы диагностики и улучшения центробежного насосно-компрессорного оборудования

Метод диагностики	Что можно улучшить
Модернизация конструкции насоса с целью снижения шума и вибраций [1]	Увеличение долговечности оборудования, снижение уровня шума и вибраций, повышение производительности насоса
Использование методов мониторинга состояния оборудования в реальном времени [2]	Своевременное выявление отклонений от нормального режима работы, предотвращение аварийных ситуаций, увеличение надежности работы оборудования
Регулярный мониторинг состояния насосов и их электроприводов в осложненных условиях эксплуатации [3]	Предупреждение поломок, увеличение эффективности эксплуатации скважин, снижение затрат на ремонт и обслуживание оборудования
Разработка специализированных диагностических процедур для очистки оборудования от асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) [4]	Увеличение эффективности работы насосов в условиях аномального содержания АСПО, снижение износа оборудования, повышение его долговечности
Применение алгоритмов машинного обучения для оценки технического состояния объектов трубопроводного транспорта [5]	Повышение точности диагностики, сокращение времени на обнаружение неисправностей, обеспечение более надежной работы оборудования, минимизация рисков возникновения аварийных ситуаций

Использование данных методов позволяет значительно повысить точность диагностики, снизить вероятность ошибок и обеспечить более надежную работу оборудования. Машинное обучение способно анализировать огромные объемы данных, получаемых в ходе мониторинга работы насосов, и выявлять скрытые закономерности, которые могут быть незаметны для человека.

Одним из наиболее важных аспектов диагностики центробежного насосно-компрессорного оборудования является обеспечение его бесперебойной работы в условиях повышенных нагрузок и агрессивных сред. Для этого необходимо проводить регулярные осмотры и тестирования оборудования, а также использовать современные диагностические приборы и программное обеспечение. Важно также учитывать влияние внешних факторов, таких как климатические условия и состояние окружающей среды, на работу насосов. Например, в условиях сильных ветров или высокой влажности уровень шума и вибраций может значительно возрастать, что требует дополнительных мер по защите оборудования [1].

Также нельзя недооценивать роль человеческого фактора в процессе диагностики насосно-компрессорного оборудования. Опытные специалисты играют ключевую роль в интерпретации данных, полученных в ходе мони-

торинга и принятии решений по дальнейшим действиям. Важно обеспечивать постоянное обучение персонала, повышение его квалификации и внедрение передовых практик в области диагностики и обслуживания насосов. Только таким образом можно добиться максимальной эффективности и надежности работы оборудования, минимизируя риски возникновения аварийных ситуаций [2].

Регулярный мониторинг состояния насосов и их электроприводов в осложненных условиях эксплуатации также играет важную роль в обеспечении бесперебойной работы оборудования и предотвращении возможных поломок. Кроме того, разработка специализированных диагностических процедур для очистки оборудования от асфальтосмолопарафиновых отложений способствует увеличению эффективности работы насосов в условиях аномального содержания АСПО и снижению износа оборудования, что, в свою очередь, продлевает срок его службы и уменьшает затраты на ремонт и обслуживание. В последние годы все большее внимание уделяется применению алгоритмов машинного обучения для оценки технического состояния объектов трубопроводного транспорта. Использование данных методов позволяет значительно повысить точность диагностики и сократить время на обнаружение неисправностей, что делает работу оборудова-

ния более надежной и безопасной. Машинное обучение способно анализировать огромные объемы данных, получаемых в ходе мониторинга работы насосов, и выявлять скрытые за-

кономерности, которые могут быть незаметны для человека, что открывает новые горизонты для применения этих методов в нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Доля, Н.Н. Разработка мероприятий для уменьшения уровня шума и вибраций центробежных насосов на нефтеперекачивающих станциях / Н.Н. Доля, 2021.
2. Абидова, Е.А. Диагностика привода системы управления и защиты реакторной установки / Е.А. Абидова [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2023. – № 2(47). – С. 77–87.
3. Семенов, Н.А. Повышение эффективности эксплуатации скважин, оборудованных установками электроцентробежного насоса в осложненных условиях при эксплуатации нефтяных месторождений / Н.А. Семенов, 2023.
4. Атаныязов, Э. Повышение эффективности эксплуатации скважин в условиях аномального содержания асфальтосмолопарафиновых отложений / Э. Атаныязов, 2023.
5. Сираева, А. Применение алгоритмов машинного обучения при оценке технического состояния объектов трубопроводного транспорта / А. Сираева, 2023.

References

1. Dolya, N.N. Razrabotka meropriyatiy dlya umen'sheniya urovnya shuma i vibratsiy tsentrobezhnykh nasosov na nefteperkachivayushchikh stantsiyakh / N.N. Dolya, 2021.
2. Abidova, Ye.A. Diagnostika privoda sistemy upravleniya i zashchity reaktornoy ustanovki / Ye.A. Abidova [i dr.] // Global'naya yadernaya bezopasnost'. – 2023. – № 2(47). – S. 77–87.
3. Semenov, N.A. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii skvazhin, oborudovannykh ustanovkami elektrotsentrobezhnogo nasosa v oslozhnennykh usloviyakh pri ekspluatatsii neftyanykh mestorozhdeniy / N.A. Semenov, 2023.
4. Atanyyazov, E. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii skvazhin v usloviyakh anomal'nogo soderzhaniya asfal'tosmoloparafinykh otlozheniy / E. Atanyyazov, 2023.
5. Sirayeva, A. Primeneniye algoritmov mashinnogo obucheniya pri otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya ob'yektov truboprovodnogo transporta / A. Sirayeva, 2023.

© Н.А. Хисамов, М.Г. Баширов, О.И. Недельченко, 2025

УДК 681.5

Л.С. ОВСЯННИКОВ, В.И. РУБЦОВ

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

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

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ВЫВОДА КОМАНД НА ОСНОВЕ БУФЕРА С ТРЕМЯ СОСТОЯНИЯМИ

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА); буфер с тремя состояниями; вывод данных.

Аннотация. Рассматривается разработка модуля преобразования сигналов для создания выходного каскада команд для выдачи управляющих команд автономного летательного аппарата. Разработан алгоритм работы модуля преобразования сигналов, в подтверждение работоспособности составлена электронная модель и выполнено ее моделирование в разных климатических условиях, по результатам которых выходные сигналы лежат в необходимом диапазоне. Исследование полезно для разработки подсистем управления и преобразования сигналов питания и сигналов управления полетом.

Введение

В рамках разработки автономного БПЛА возникла необходимость в построении модуля выходных сигналов на отечественной компонентной базе. Для реализации качественного модуля необходимо пройти через следующие стадии:

- составление алгоритма работы;
- разработка электронной модели.

Моделирование электронной модели производится для отработки типовых режимов работы и исследования стабильности работы в экстремальных режимах.

Постановка задачи

Разработать модуль вывода управляющих сигналов для летательного аппарата. На вход

поступает 16-канальная параллельная шина данных, из которой необходимо сделать на выходе 50 отдельных команд, разбив систему вывода сигналов на два модуля, каждый из которых будет выдавать 25 команд. Необходимо разработать алгоритм функционирования модуля и электронную модель этого модуля. В качестве результата следует сформировать отчет данных о выходных сигналах, а именно о их выходном напряжении.

Разработка алгоритма функционирования

Опишем функционал модуля вывода команд. Модуль имеет связь с электронно-вычислительной машиной по 16-разрядной и каскад из 25 потенциальных выдаваемых сигналов (рис. 1).

Вначале разряды проходят через восьми-канальный двунаправленный формирователь с тремя состояниями на выходе. Микросхема КРУ533АП6 представляет собой восьмиразрядный двунаправленный приемопередатчик с тремя состояниями на выходе без инверсии входной информации, применяется в качестве интерфейсной схемы в системах с магистральной организацией обмена информацией, в системах цифровой автоматики и микропроцессорных устройствах. Режим работы определяется комбинацией сигналов на двух входах управления – *COZ* и *COD*. При низком уровне напряжения на входе управления третьим состоянием *COZ* направление передачи определяется логическим уровнем на входе *COD*, а при высоком уровне напряжения на входе *COZ* выходы микросхемы переводятся в высокоимпедансное состояние [1].

Три состояния:

- 1) передача от *D1* к *Z1*;
- 2) передача от *D0* к *Z0*;

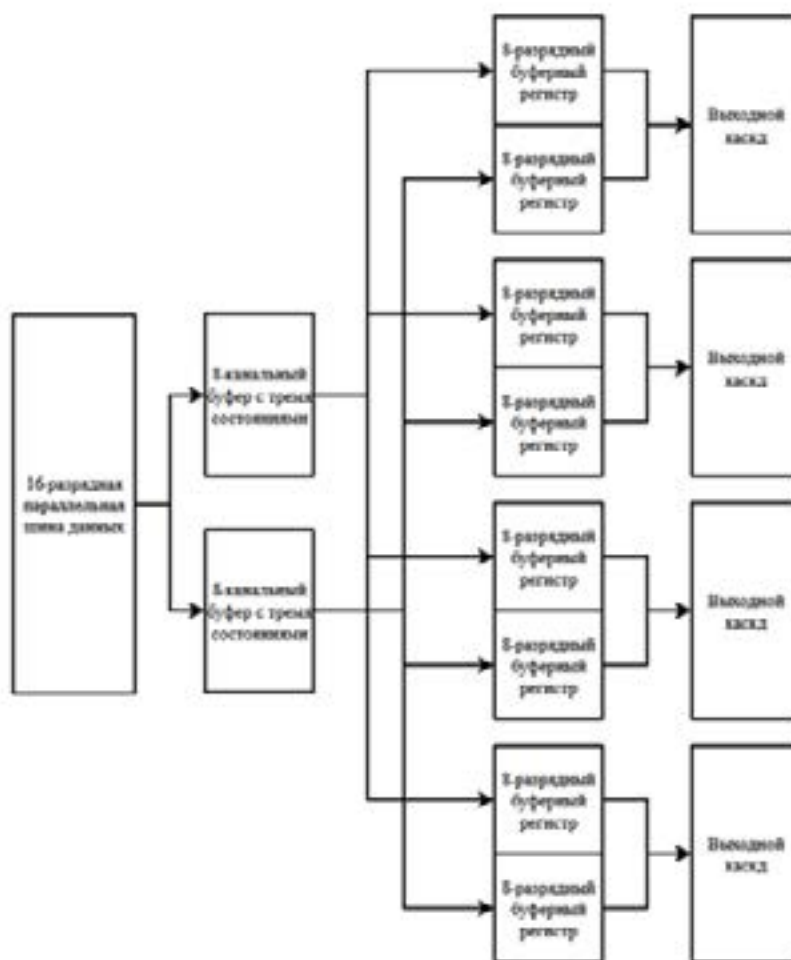


Рис. 1. Структурная схема модуля

3) состояние «выключено».

После чего 16 разрядов выбирается, на какой из четырех пар восьмиразрядных буферных регистров записать информацию. После этого каждый проходит через логический элемент НЕ. После логического элемента сигналы подаются на транзисторную матрицу. С транзисторной матрицы сигналы подаются в разъем прибора управления летательным аппаратом, то есть в свои цепи управления (рис. 2).

Моделирование в *Multisim*: результаты

В соответствии с разработанной электрической принципиальной схемой были выбраны необходимые аналоги электронных компонентов для создания цифровой модели модуля вывода команд (табл. 1).

Также некоторые элементы, такие как сборка резисторов (рис. 3), сделаны самостоятельно из необходимого количества резистора нужным номиналом и объединенным контактом.

Также интегральная микросхема 1533ИР33, восьмиразрядный буферный регистр с тремя состояниями, не имеющий аналогов, был создан в соответствии с техническими условиями (ТУ). Внутренняя периферия сделана из доступных элементов (рис. 4).

Используя выбранные аналоги электронных компонентов и вновь разработанные элементы, мы составили электронную модель модуля вывода данных.

Для проверки правильности данного модуля необходимо проверить правильность выдачи всех команд. Для удобства проверки составим

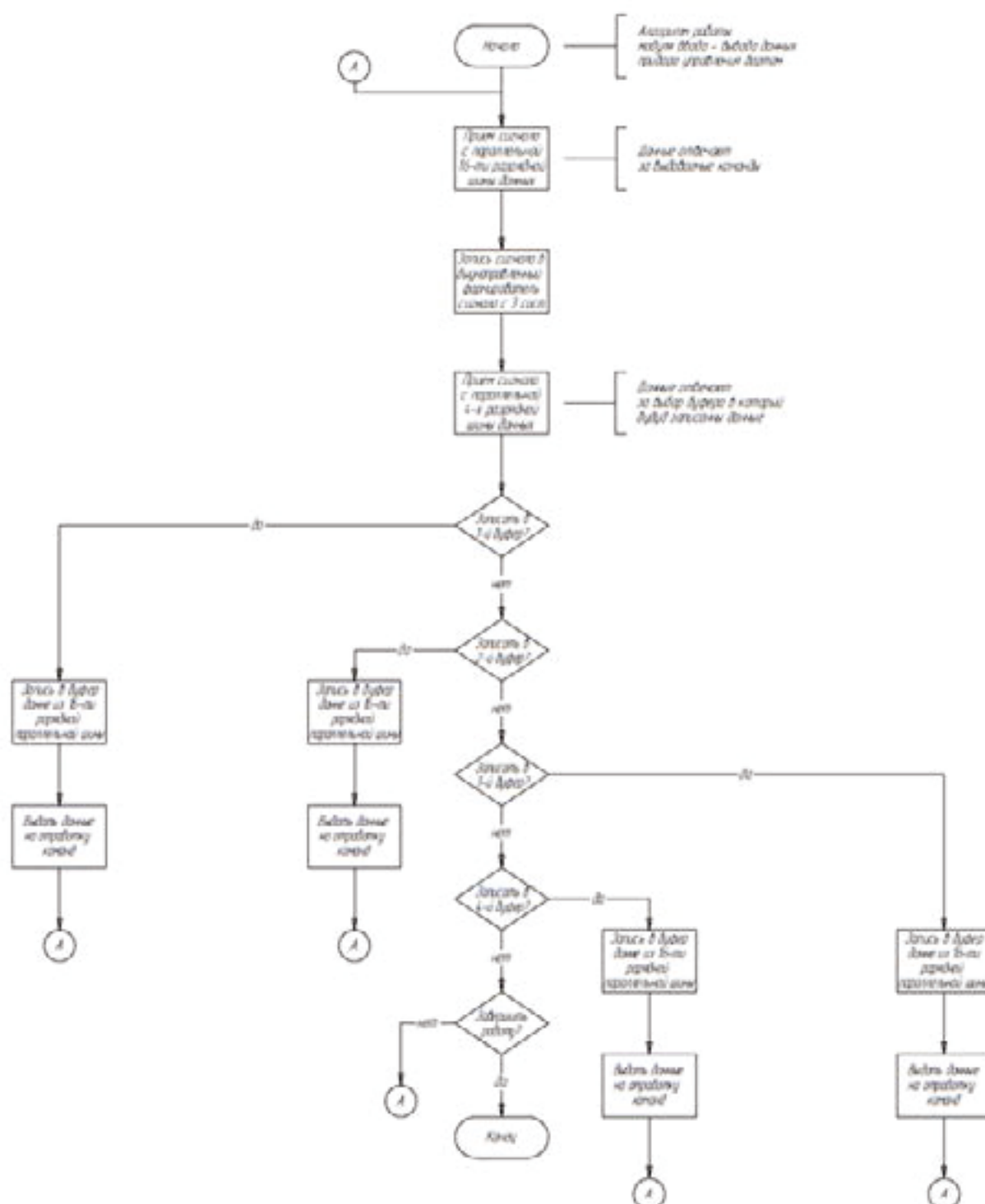


Рис. 2. Алгоритм работы модуля

сводный график ошибки (рис. 5). На вход подается необходимая комбинация входных данных для реализации определенной команды. Для каждой команды является нормой выходной сигнал, равный 5,0 В – 5 %. Моделирование

данного модуля проведено в нормальных климатических условиях для проверки модуля на отказы в работе [2].

Все выдаваемые команды находятся в необходимом диапазоне напряжения, среднее

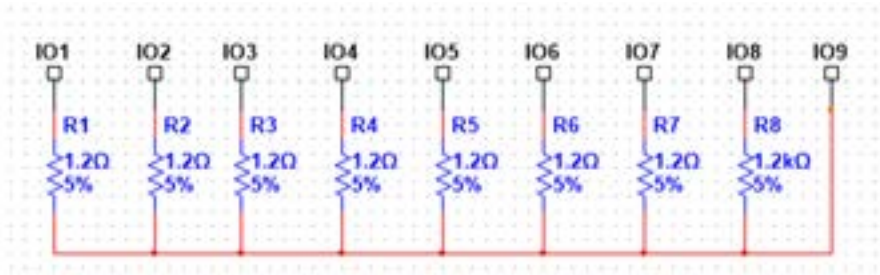


Рис. 3. Резисторная сборка

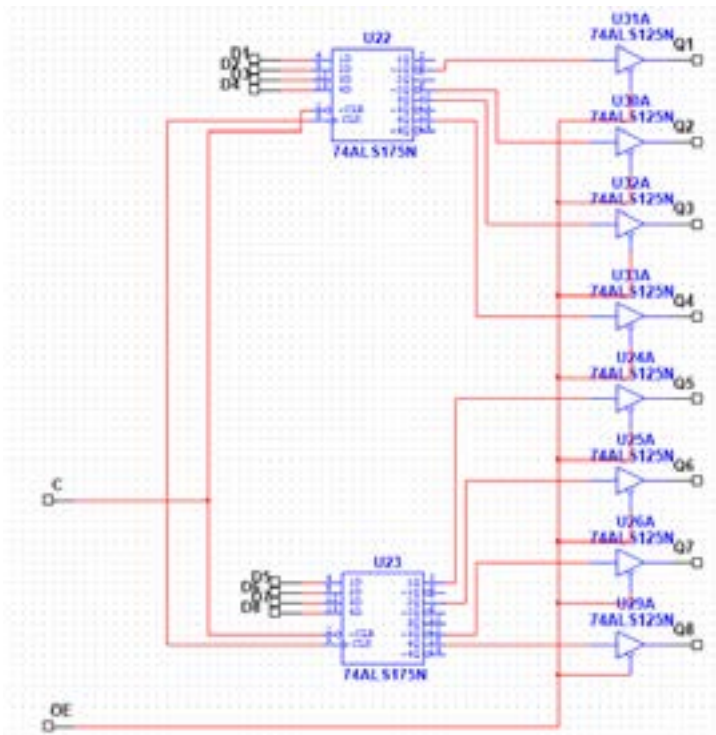


Рис. 4. 1533IP33

Таблица 1. Таблица аналогов компонентов для модуля ввода вывода данных

Наименование отечественного компонента	Наименование компонента аналога
Микросхема 1533ЛН1	Микросхема <i>SN74ALS04</i>
Микросхема 1533ЛА1	Микросхема <i>SN74ALS20</i>
Микросхема 1533АП6	Микросхема <i>SN74ALS245</i>
Микросхема 1533ИР33	Микросхема <i>SN74ALS573</i>
Микросхема 1533ЛН2	Микросхема <i>SN74ALS05</i>
Диодная матрица 2Д212А/С0	Диод 1N4383

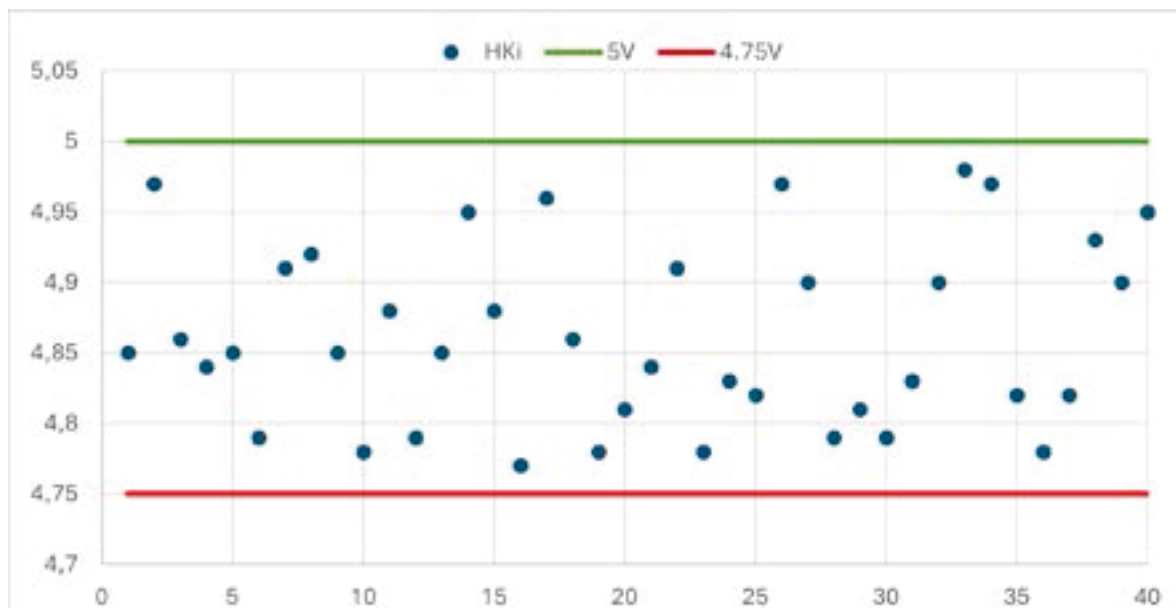


Рис. 5. Распределение ошибки при нормальных климатических условиях

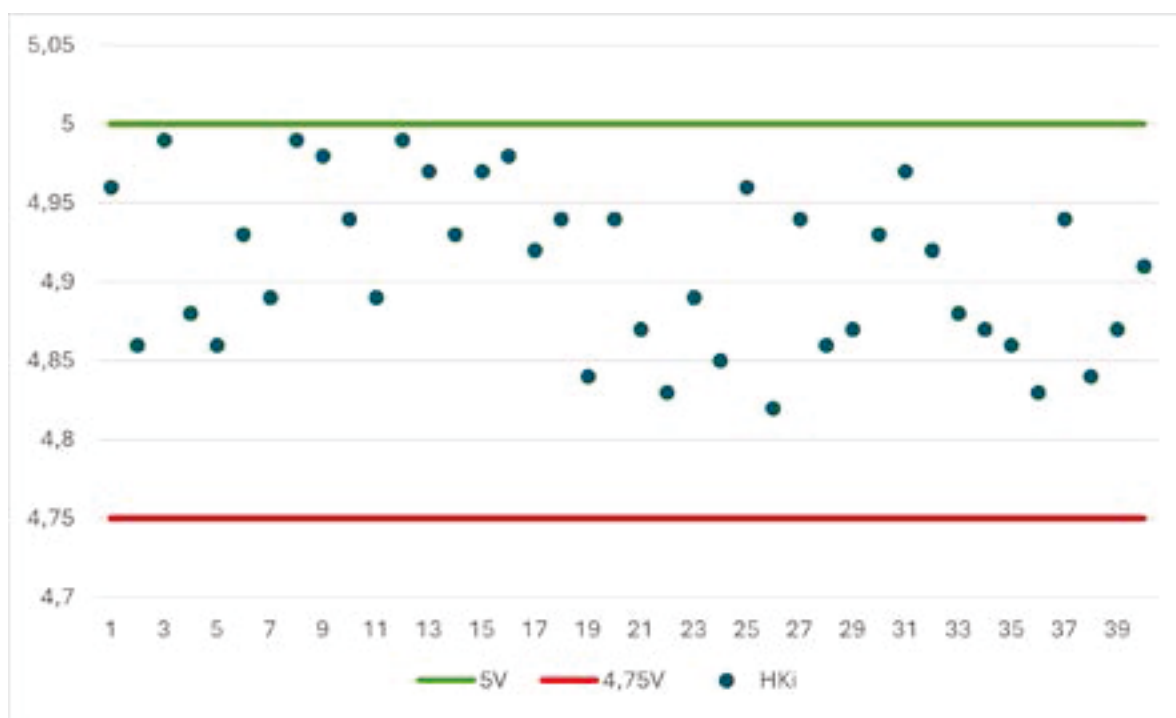


Рис. 6. Распределение ошибки при температуре +60 °C

значение выдаваемого напряжения равно 4,86 В, коррекцию производить не нужно. При подаче неправильных входных данных, некорректного напряжения или подаваемой информации цифровая модель работает в правильном

режиме.

Следующее моделирование проведено при температуре +60 °C для проверки модуля на отказы в работе (рис. 6).

Все выдаваемые команды находятся в не-

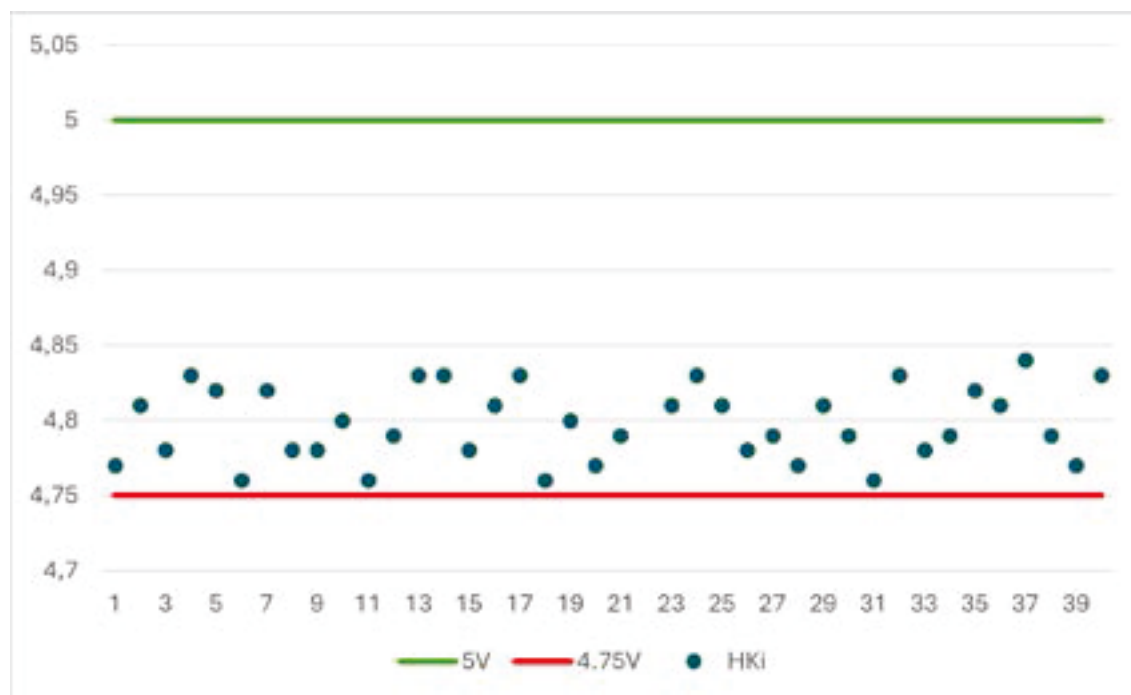


Рис. 7. Распределение ошибки при температуре -50°C

обходимом диапазоне напряжения, среднее значение выдаваемого напряжения равно 4,9 В, коррекцию производить не нужно. При подаче неправильных входных данных, некорректного напряжения или подаваемой информации цифровая модель работает в правильном режиме.

Следующее моделирование данного модуля проведено при температуре -50°C для проверки модуля на отказы в работе (рис. 7).

Все выдаваемые команды находятся в необходимом диапазоне напряжения, среднее значение выдаваемого напряжения равно 4,79 В, коррекцию производить не нужно. При подаче неправильных входных данных, некорректного напряжения или подаваемой информации цифровая модель работает в правильном режиме.

Таким образом, моделирование электронного модуля доказывает работоспособность предлагаемого алгоритма формирования команд.

Заключение

Разработан алгоритм работы модуля вывода управляющих сигналов для автономного БПЛА. Также разработана электронная модель модуля вывода управляющих сигналов и проведено моделирование системы для оценки работы. Модуль выполняет свои функции корректно в разных температурных режимах, все выходные напряжения лежат в необходимом диапазоне напряжения. В дальнейшем планируется реализация модуля и проведение натурных испытаний.

Список литературы

1. Илюшин, П.В. Особенности применения объектов распределенной генерации в сетях внутреннего электроснабжения промышленных предприятий / П.В. Илюшин // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: материалы Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко. Отв. ред. Н.И. Воропай, Ю.Я. Чукреев. – Сыктывкар : Изд-во ООО «Коми республиканская типография», 2016. – С. 100–109.
2. Гагарина, Л.Г. Метод ускоренной разработки прототипов программного обеспечения / Л.Г. Гагарина, К.С. Акимов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. –

2013. – № 1(117). – С. 3–5.

References

1. Ilyushin, P.V. Osobennosti primeneniya ob"yektov raspredelennoy generatsii v setyakh vnutrennego elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy / P.V. Ilyushin // Metodicheskiye voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki: materialy Mezhdunarodnogo nauchnogo seminara im. YU.N. Rudenko. Otv. red. N.I. Voropay, YU.YA. Chukreyev. – Syktyvkar : Izd-vo OOO «Komi respublikanskaya tipografiya», 2016. – S. 100–109.

2. Gagarina, L.G. Metod uskorennoy razrabotki prototipov programmnoy obespecheniya / L.G. Gagarina, K.S. Akimov // Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. – 2013. – № 1(117). – S. 3–5.

© Л.С. Овсянников, В.И. Рубцов, 2025

УДК 681.518

И.С. ФОМАШИН, В.И. РУБЦОВ

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

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

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ БПЛА ПРИ ОСМОТРЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА); осмотр помещений; планирование траектории; построение карты; расчет цели траектории; стереокамера.

Аннотация. Рассматривается задача планирования траектории квадрокоптера с расчетом очередной цели движения в рамках общей задачи осмотра строительных объектов с построением двухмерного плана помещения. Особое внимание уделено оценке локального и глобального окружения БПЛА с целью определить направление движения, при котором расширяется исследованная часть помещения. Рассмотрены существующие методы планирования траектории, синтезирован собственный метод и опробован на типовой карте жилых квартир. Полученные результаты подтверждают работоспособность метода. Предложенное решение может быть использовано в построении автономных БПЛА или наземных роботов в задачах построения моделей помещений.

Введение

В рамках исследования по использованию квадрокоптера в целях построения плоских двумерных моделей зданий, квартир, офисов возникла задача формирования траектории для реализации автономного движения.

Интерес к проектированию БПЛА велик, однако чаще сводится к получению уравнений динамики БПЛА [1; 2] и синтезу системы управления [3]. С точки зрения планирования траектории исследованы методы отработки контрольных точек на открытом пространстве

[4] и методы уклонения от препятствий [5]. Таким образом, требуются анализ методов планирования пути в помещении и их адаптация к исходной задаче.

Постановка задачи

БПЛА оснащен стереокамерой, расположенной фронтально. Считаем, что можем получить локальную карту проходимости в области видимости камеры [6], имеющую дальность видимости $R_{\text{кам}}$ и угол обзора $A_{\text{кам}}$. Следует получить траекторию в виде последовательности координат, при движении по которым БПЛА расширяет исследованную область и строит плоскую модель среды. Окружающую среду примем неизменной, однако информация о ней заранее неизвестна, за исключением ее предельных размеров. Качество работы оценим зависимостью исследованной площади от пройденного пути.

Анализ методов планирования траектории

Рассмотрим существующие решения [7]. Методы на основе графа отличаются небольшой вычислительной сложностью, однако применяются в статичной и известной заранее окружающей среде [7]. Известны рекурсивные алгоритмы для работы в неизвестной местности, однако используемые там допущения о форме препятствий не соответствуют внутренней геометрии зданий [8].

Движение в методе потенциальных полей осуществляется вдоль векторных линий поля. Например, предполагается наделить цель притягивающим полем, препятствия – отталкивающим. Сложение полей решает задачи движения к цели и обхода препятствий. Однако в на-

шем случае вычислительная сложность кратко возрастает, т.к. возможной целью является каждая из неизведанных областей помещения. Недостатками метода являются вероятность попадания в локальный максимум и резкое изменение потенциала, что возможно при движении в лабиринте здания [7].

В основе метода декомпозиции (дискретизации) пространства – аппроксимация карты сеткой из элементарных ячеек. Следует учитывать применение алгоритма на бортовом вычислителе, так как объем вычислений зависит от шага дискретизации рабочего пространства [9]. Рассмотрим эвристическую стратегию поиска пути.

Алгоритм A^* является направленным и практически значимым, однако сильно зависит от вида эвристической функции, что одновременно делает его гибким в настройке [7; 9]. Приоритетный путь в методе определяется суммой:

$$f(v) = g(v) + h(v),$$

где $f(v)$ – стоимость пути до ячейки v ; $g(v)$ – стоимость пути из старта в данную точку; $h(v)$ – эвристическая оценка стоимости пути до конечной вершины. В итоге A^* является обобщением алгоритма Дейкстры при $f(v) = g(v)$ и алгоритма жадного поиска при $f(v) = h(v)$.

В оптимизационных методах движение описывается в рамках динамической системы, препятствия – в виде уравнений, качество траектории – функционалом. Возникает задача оптимального управления, в которой можно учесть скоростные и энергетические требования, однако она более трудоемкая и требует знание математической модели БПЛА [7].

В работе [9] предлагается планирование с помощью «нейронных карт» (нейросети Хопфилда), где центру дискретной ячейки соответствует виртуальный нейрон. Метод способен строить безопасные траектории, однако при недостаточной вычислительной мощности снижается плавность траектории, а при сложной форме препятствий возникают локальные максимумы. Реактивный метод основан на децентрализации управления: ряд модулей, воспринимающих отдельную информацию, реализуют отдельные поведения [7] – движение

к цели, уклонение от препятствий, движение вдоль стены, выход из локального минимума.

Сравнивая методы, выберем метод декомпозиции как наиболее универсальный: с его помощью можно реализовать простые алгоритмы и учесть такие требования, как дальность и видимость стереокамеры. Кроме того, анализ клеток позволит рассчитать цель для движения.

Поиск целей для задачи осмотра помещения

Предложим следующие методы оценки областей:

- движение к ближайшей неизвестной области;
- движение к наибольшей по площади неизвестной области.

Первый метод основан на определении границы изученного пространства (градиента свободно-неизвестно) и затем выбора ближайшей. Метод позволяет плавно расширять исследованную область.

Второй метод обеспечивает быстрое продвижение в неизвестные области, что может быть полезно на первых этапах, например, движение вдоль коридора. При продолжительной работе включение этого метода позволит найти области, оставшиеся неисследованными ранее.

Предложим также использовать информацию о предельных размерах помещения. Тогда всю карту можно разделить на равные области по количеству, например, комнат. Центры областей формируют опорную сетку – еще один класс целей для посещения.

Метод планирования траектории в задаче формирования плоской модели помещения

Выполним комбинацию предложенных выше методов с расчетом различных целей в зависимости от локального окружения робота. При этом используем алгоритм A^* для построения маршрута от очередной текущей точки до целевой. Используем карту, ячейки в которой могут принимать только три состояния: неизвестно, свободно и занято.

На первом этапе движения БПЛА выпол-

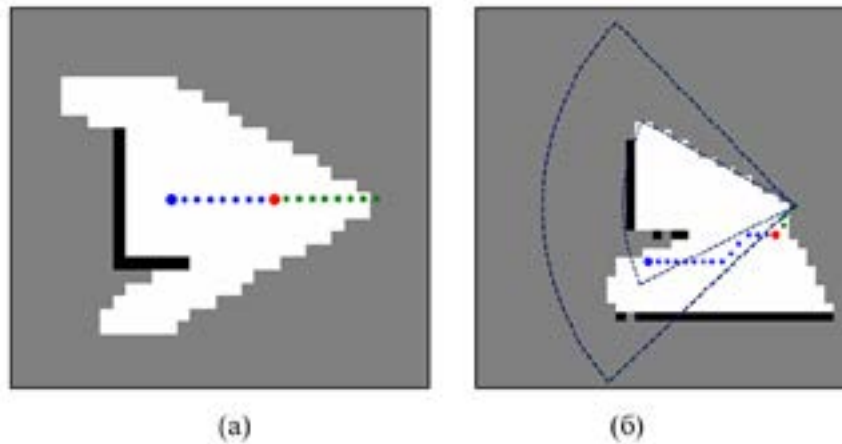


Рис. 1. Планирование траектории и движение по ней: а) метод трассировки; б) градиентный метод. Черным обозначены препятствия, серым – неисследованные ячейки, белым – свободные, красной и синей точками – начальное и целевое положение, зеленой и синей линиями – пройденный и рассчитанный путь

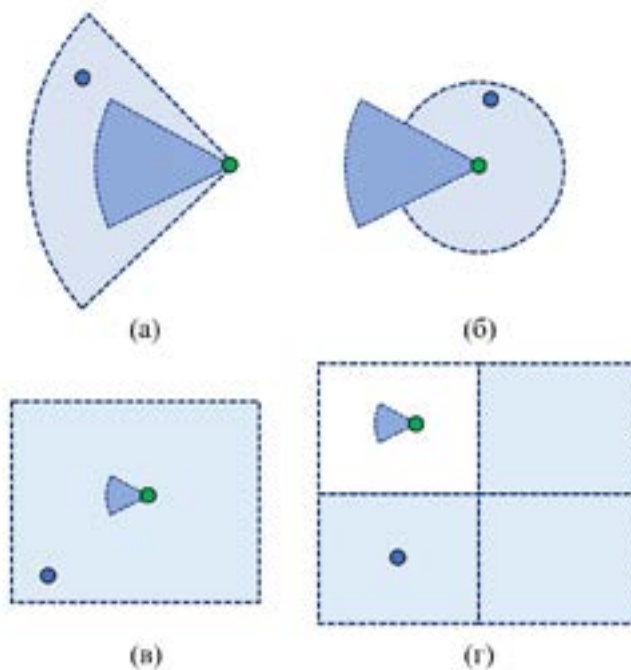


Рис. 2. Сравнение области видимости камеры и областей поиска с возможными целями: а) метод градиента в узком диапазоне; б) в широком; в) поиск в текущем участке; г) поиск в соседнем участке

ним трассировку (рис. 1а), выбрав в качестве целей ячейку, одновременно:

– лежащую в области видимости камеры:

$$\begin{cases} R_1 < R_{\text{квм}} \\ A_1 < A_{\text{квм}} \end{cases}$$

где R_1 и A_1 – диапазон поиска по радиусу и углу в полярных координатах, жестко связанных с БПЛА;

- исследованную и свободную;
- наиболее удаленную от робота;
- ближайшую к текущему курсу при равенстве расстояний.

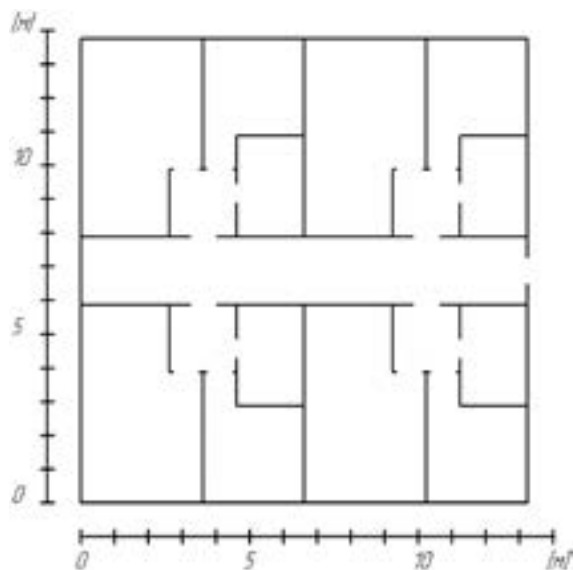


Рис. 3. План помещения, выбранного для отработки метода

Метод особенно эффективен, если поместить робота, например, в коридор или другое протяженное помещение. Условие на выбор курса продиктовано стремлением получить плавную траекторию без колебаний робота в стороны или движением назад, в неисследованную область.

Далее в качестве целей выберем границу исследованной зоны (рис. 1б):

– находящуюся от робота на расстоянии, превышающем области видимости датчика:

$$\begin{cases} R_2 > R_{\text{взм}} \\ A_2 > A_{\text{взм}} \end{cases}$$

где R_2 и A_2 – параметры поиска по методу градиента в узком диапазоне;

- ближайшую к роботу;
- ближайшую к текущему курсу.

Также применим аналогичный метод с расширенным диапазоном поиска:

$$\begin{cases} R_3 < R_{\text{взм}} \\ A_3 = 360^\circ \end{cases}$$

что направлено на обнаружение пропущенных локальных участков вблизи БПЛА, таких как углы комнаты.

В завершение, зная предельные размеры рабочей области, применим метод раз-

биения карты на равные участки-прямоугольники, затем выполним движения к наиболее неисследованной соседней области.

Приоритет целей и логика их изменения составляют основу предлагаемого метода планирования пути.

1. Выполнение начальной трассировки по протяженному помещению.

2. Определение текущего участка в сетке.

3. Расчет цели (рис. 2).

3.1. Расчет цели по методу градиента в узком диапазоне поиска.

3.2. Если цель не найдена, то расчет в широком диапазоне, иначе п. 4.

3.3. Если цель не найдена, то поиск неисследованной зоны в текущем участке, иначе п. 4.

3.4. Если цель не найдена, то анализ соседних участков, иначе п. 4.

3.5. Если критерий качества выполнен, то прекращаем исследования помещения.

4. Расчет траектории от текущего положения до целевого по методу A^* .

В некотором смысле получим реактивное управление, описанное выше. Отметим, что многоступенчатый метод выбора цели решает логистическую задачу – выбор приоритетной цели из множества возможных. Кроме того, движение к ближайшей цели ускоряет расчет по методу A^* .

Таблица 1. Параметры алгоритма

Описание параметра	Значение
Шаг дискретизации пространства	0,1 м
$R_{\text{кам}}, A_{\text{кам}}$	2 м, 60°
Длина начального пути по методу трассировки	8 м
R_2, A_2	0,4–3 м, 90 °
R_3, A_3	0,4–2 м, 360 °
Количество участков для разбиения карты	8 м
Длина траектории для отработки без пересчета	1,6 м

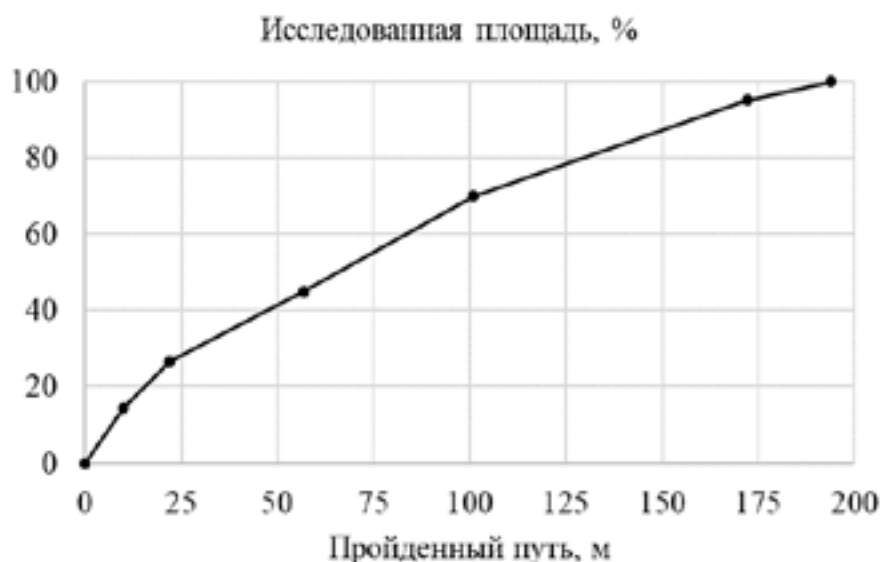


Рис. 4. Зависимость исследованной площади от пройденного пути

Реализация алгоритма в Python: результаты

С использованием языка программирования *Python* предложенный метод реализован в виде алгоритма планирования траектории в типовом жилом помещении (рис. 3) общей площадью 178 м². Габариты БПЛА при этом не превышают 0,4 м. Параметры алгоритма приведены в табл. 1.

Для исходной карты построим зависимость исследованной площади от пройденного пути (рис. 4) и приведем полученную траекторию (рис. 5).

Заключение

Рассмотрены методы планирования траектории в помещении для построения автономного БПЛА. Предложены способы расчета и выбора цели движения на основе окружения БПЛА в задаче получения двухмерной карты помещения. Метод реализован в виде программы и опробован на типовой планировке жилых квартир.

В результате метод обеспечивает полный осмотр помещения, исключая ситуации попадания в локальные минимумы, тупики или циклическое движение в одной области. Дли-

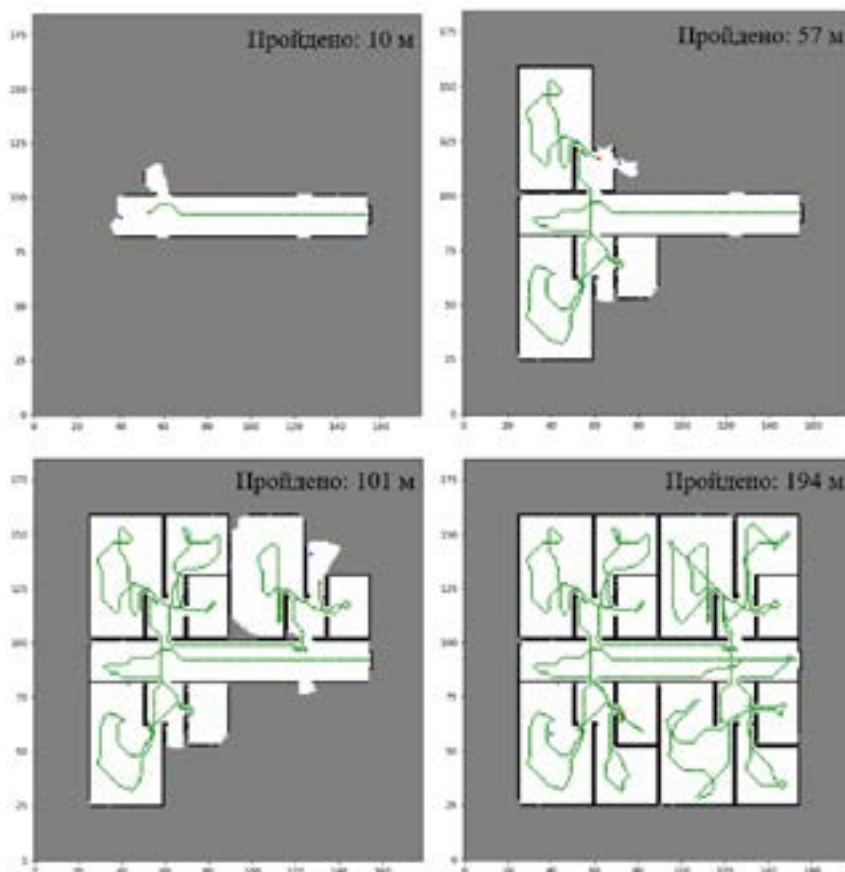


Рис. 5. Процесс выполнения алгоритма

ну пути, пройденную при этом, можно считать приемлемой. Простота алгоритма позволяет реализовать его в режиме реального

времени на бортовых вычислителях, что необходимо для синтеза автономной системы управления БПЛА.

Список литературы

1. Калягин, М.Ю. Моделирование системы управления полетом квадрокоптера в среде Simulink и Simscape Multibody / М.Ю. Калягин, Д.А. Волошин, А.С. Мазаев // Труды МАИ. – 2020. – № 112. – С. 20.
2. Математическая модель системы управления квадрокоптером / А.И. Годунов, С.А. Куканов, П.С. Суздальцев, А.М. Мухамбетов // Надежность и качество сложных систем. – 2024. – № 2(46). – С. 25–31.
3. Канатников, А.Н. Управление плоским движением квадрокоптера / А.Н. Канатников, К.Р. Акопян // Математика и математическое моделирование. – 2015. – № 2. – С. 23–36.
4. Гревцов, Н.М. Подготовка и выполнение полета квадрокоптера в городе / Н.М. Гревцов, Г.А. Лазурин, Р.М. Мурзагалин // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2021. – № 3. – С. 154–167.
5. Тумко, В.В. Реализация алгоритма облета препятствий для квадрокоптера ARDrone 2 / В.В. Тумко, Д.В. Начаров // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2020. – № 1-1. – С. 116–117.
6. Thrun, S. Learning occupancy grid maps with forward sensor models / S. Thrun // Autonomous robots. – 2003. – Vol. 15. – P. 111–127.

7. Лю, В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) / В. Лю // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 1. – С. 15–58.
8. Метод планирования траектории движения точки в пространстве с препятствием на основе итеративной кусочно-линейной аппроксимации / В.О. Антонов, М.М. Гурчинский, В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 1. – С. 168–182.
9. Юдинцев, Б.С. Синтез нейросетевой системы планирования траекторий для группы мобильных роботов / Б.С. Юдинцев // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – №. 4. – С. 163–186.

References

1. Kalyagin, M.YU. Modelirovaniye sistemy upravleniya poletom kvadrokoptera v srede Simulink i Simscape Multibody / M.YU. Kalyagin, D.A. Voloshin, A.S. Mazayev // Trudy MAI. – 2020. – № 112. – С. 20.
2. Matematicheskaya model' sistemy upravleniya kvadrokopterom / A.I. Godunov, S.A. Kukanov, P.S. Suzdal'tsev, A.M. Mukhambetov // Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem. – 2024. – № 2(46). – С. 25–31.
3. Kanatnikov, A.N. Upravleniye ploskim dvizheniyem kvadrokoptera / A.N. Kanatnikov, K.R. Akopyan // Matematika i matematicheskoye modelirovaniye. – 2015. – № 2. – С. 23–36.
4. Grevtsov, N.M. Podgotovka i vypolneniye poleta kvadrokoptera v gorode / N.M. Grevtsov, G.A. Lazurin, R.M. Murzagalin // Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. – 2021. – № 3. – С. 154–167.
5. Tumko, V.V. Realizatsiya algoritma obleta prepyatstviy dlya kvadrokoptera ARDrone 2 / V.V. Tumko, D.V. Nacharov // SVCH-tehnika i telekommunikatsionnyye tekhnologii. – 2020. – № 1-1. – С. 116–117.
7. Lyu, V. Metody planirovaniya puti v srede s prepyatstviyami (obzor) / V. Lyu // Matematika i matematicheskoye modelirovaniye. – 2018. – № 1. – С. 15–58.
8. Metod planirovaniya trayektorii dvizheniya tochki v prostranstve s prepyatstviyem na osnove iterativnoy kusochno-lineynoy approksimatsii / V.O. Antonov, M.M. Gurchinskiy, V.I. Petrenko, F.B. Tebuyeva // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. – 2018. – № 1. – С. 168–182.
9. Yudintsev, B.S. Sintez neyrosetevoy sistemy planirovaniya trayektoriy dlya gruppy mobil'nykh robotov / B.S. Yudintsev // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. – 2019. – №. 4. – С. 163–186.

© И.С. Фомашин, В.И. Рубцов, 2025

УДК 62-529

Н.В. БРИЖИНСКАЯ, Р.В. РОМАНОВ, К.А. ВОТЯКОВ, В.П. НАЗАРОВ
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ СЛОЖНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ключевые слова: автоматизация; жидкостный ракетный двигатель; производство; технологический процесс.

Аннотация. Изготовление и монтаж трубопроводов двигателей летательных аппаратов является сложной технологической задачей, связанной с размещением магистралей в ограниченном пространстве по причине плотной компоновки двигателя. В настоящее время данная задача требует большого количества ручного труда и не гарантирует обеспечение оптимальной конфигурации и надлежащего качества продукции.

В статье предлагается решение по автоматизации процесса изготовления трубопроводов, направленное на повышение производительности и качества выпускаемой продукции.

В настоящее время координатно-измерительные машины (**КИМ**) являются наиболее перспективными инструментами для контроля размеров, форм и положения поверхностей. В производственном секторе экономически развитых стран более 80 % операций по размерному контролю выполняется с использованием прецизионных КИМ, что обусловлено строгими требованиями к точности измерений и скорости их выполнения. В ракетно-космической индустрии прецизионные узлы ракетополетных аппаратов подвергаются контролю исключительно с помощью КИМ, которые становятся все более востребованы среди универсальных инструментов для определения геометрических характеристик деталей (**ДСЕ**). Внедрение КИМ в про-

изводственные процессы позволило увеличить эффективность и существенно сократить затраты труда [9].

Исходя из высоких требований к точности изготовления современных двигателей летательных аппаратов, их узлов и агрегатов и жестких допусков при стыковке, сборке их узлов и агрегатов, а также высокой степени автоматизации производственных процессов, задача контроля геометрических характеристик стыкуемых конструкций требует создания новых прогрессивных измерительных технологий, методик и их рационального внедрения в серийное производство.

Контроль геометрии сложных деталей и узлов жидкостного ракетного двигателя (**ЖРД**) достаточно сложно обеспечить контактным методом, поэтому на их смену приходят новые технологии с применением высокоточных 3D-сканеров, работающих на специальном программном обеспечении, портативных КИМ с лазерным сканером [6]. 3D-сканер представляет собой автоматизированную машину с подвижной измерительной головкой. Возможность оборудования позволяет произвести оцифровку поверхности и сопоставить данные сканирования с исходной *CAD*-моделью. По результатам такого сравнения создается отчет с картой отклонений геометрии детали от исходной *CAD*-модели [1; 7]. Полученные данные обрабатываются штатным программным обеспечением по сложным алгоритмам и преобразовываются в так называемое трехмерное облако точек, которое характеризует положение большего числа координат измеряемой детали относительно друг друга. Впоследствии программа



Рис. 1. Примеры компактного расположения трубопроводов со сложной пространственной геометрией на ракетных двигателях

фильтрует данные и накладывает оставшиеся точки на полигональную сетку или модель и получается трехмерное изображение измеряемого изделия [2]. Погрешность современных лазерных сканеров составляет 1,9 мкм, что соответствует точности КИМ, оснащенных тактильными датчиками.

Трубопроводные системы летательных аппаратов (ЛА) являются сложными объектами производства в части их проектирования, изготовления, монтажа и контроля. Сложность связана со спецификой плотной компоновки магистралей трубопроводов в ограниченных пространствах (рис. 1).

В связи с этим трубопроводы имеют следующие конструктивные особенности [1]:

- отсутствие или незначительное число прямолинейных участков;
- колебание конечных координат стыковки трубопровода к элементам ЛА;
- значительный ассортимент применяемых труб.

В настоящее время многие предприятия ракетно-космической промышленности при серийном производстве двигателей летательных аппаратов применяют метод эталонирования трубопроводов.

Существующее применение эталонов в качестве основы для изготовления трубопроводов имеет ряд сложностей и недостатков:

- конструкторская документация в неполной мере определяет геометрию трубопровода, что, соответственно, требует наличие эталона трубопровода;
- высокая трудоемкость и сложность из-

готовления эталонов при внедрении в серийное производство;

- невозможность применения эталонов к машинной гибке без доработки конструкции;
- необходимость ручной доработки производимых изделий;
- необходимость использования больших площадей для хранения эталонов, макетов и других референтных элементов на производстве;
- высокая степень участия человеческого фактора в производстве [4].

Существует другой подход в производстве трубопроводов на основе «цифровых двойников». Такой «двойник» создается в специализированных программах системы автоматизированного проектирования (САПР) (CAD) и включает в себя информацию о геометрических характеристиках, материале, конфигурации, а также всю технологическую информацию, достаточную для подготовки производства и серийного изготовления.

Внедрение данного метода в производство современных двигателей летательных аппаратов (ДЛА) имеет ряд преимуществ, основными из которых являются:

- ускорение технологической подготовки производства;
- упрощение подготовки программ для гибочных станков с числовым программным управлением (ЧПУ);
- возможность использования контрольно-измерительной машины с компьютерным управлением для контроля геометрии трубопроводов в сравнении с 3D-моделью вместо эталона;



Рис. 2. Схема работы системы (вариант 1)



Рис. 3. Схема работы системы (вариант 2)

– снижение трудоемкости производства каждого из трубопроводов и уменьшение количества сварных швов (при внедрении современных технологий машинной гибки и формообразования);

– освобождение площадей, занятых для хранения эталонов и рабочих шаблонов.

Вместе с тем переход от производства, основанного на «эталонном методе», к автоматизированному изготовлению требует решения ряда конструкторских, технологических и организационных вопросов:

– обработка технологии снятия с эталонов трехмерных электронных моделей с помощью КИМ;

– адаптация геометрии трубопровода для повышения технологичности гибки с помощью станков с числовым программным управлением;

– разработка системы позиционирования элементов сварных трубопроводов для прихватки/сварки (внедрение универсальной сварочной оснастки и роботизированной сварки) [9];

– внедрение системы электронного документооборота как внутри предприятия-изго-

товителя, так и между конструкторским бюро (разработчиком) и изготовителем.

Алгоритм работы автоматизированной системы изготовления трубопроводов. На предварительном этапе производится определение длины заготовки трубопровода. Для трубопроводов, имеющих изгибы и прямолинейные участки, длина заготовки рассчитывается методом развертки осевой линии:

$$L = \sum_1^i l_i + \sum_1^i R_i \cdot \varphi_i$$

где $\sum_1^i l_i$ – сумма длин прямолинейных участков; $\sum_1^i R_i \cdot \varphi_i$ – сумма длин криволинейных участков; R_i – радиус кривизны осевой линии трубопровода на i -участке; φ_i – угол изгиба на i -участке.

Исходные геометрические параметры и данные по конфигурации узла трубопровода можно получить двумя способами.

1. Измерив эталон-трубопровод с помощью современных контрольно-измерительных машин (рис. 2).

Данный способ наиболее подходит для внедрения системы на этапе серийного изготовления двигателей ЛА.



Рис. 4. 3D-модель трубопровода

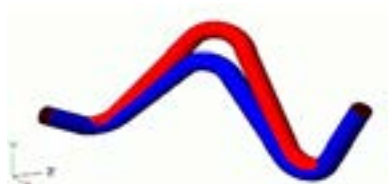


Рис. 5. Графическое представление результатов измерения изготовленного трубопровода в сравнении с 3D-моделью

2. Получив геометрические параметры трубопровода из созданной конструктором 3D-модели двигателя (при этом необходимо корректировать координаты мест стыковки путем их измерения контрольно-измерительной машиной и внесения соответствующих изменений в 3D-модель) (рис. 3, рис. 4).

Этот способ предназначен для внедрения автоматизированной системы на этапе отработки (освоения) производства современных изделий, поскольку они проектируются с применением 3D-моделирования [8].

На следующем этапе необходимо создать управляющую программу (УП) для осуществления гибки трубы на станке с числовым программным управлением, для чего может использоваться специальное технологическое программное обеспечение (например, *TezetCAD*). Затем данные управляющей программы необходимо внести в блок управления станка с ЧПУ для осуществления гибки трубы с последующим контролем конфигурации при помощи КИМ (путем сравнения исходной 3D-модели и данных, полученных в процессе измерения изготовленного трубопровода) (рис. 5).

В случае успешного прохождения операции контроля труба допускается в дальнейшую работу.

Предлагаемая методика позволяет выявить ключевые технологические процессы, для которых смена концепции «эталонного» производства трубопровода на «цифровое производство» имеет наибольшее влияние. К этим

процессам в первую очередь относятся гибка трубопровода, последующий контроль его геометрии, а также сборочно-сварочные операции. Можно выделить основные достоинства технологии производства при использовании «цифровых двойников».

1. Отказ от хранения эталонов и шаблонов трубопроводов и экономия производственных площадей.

2. Возможность отрезки заготовок в точный размер, отказ от вспомогательных операций по отрезке и технологического припуска, экономия материала. Возможность автоматизированного расчета оптимального раскроя длинномерных труб для минимизации числа обрезков.

3. Снижение трудоемкости изготовления трубопроводов и ускорение цикла производства. Увеличение точности изготовления и повторяемости.

4. Отказ от хранения контрольной оснастки. Возможность получать точные величины отклонений профиля изогнутой трубы от электронной модели по каждому гибу и участку трубопровода.

Переход к данной технологии и использование современного компьютеризированного оборудования позволяют наладить выпуск серийной продукции со стабильными размерами и точной геометрией, повысить качество выпускаемых трубопроводов, а также отказаться от большого количества эталонов и шаблонов, занимающих значительные складские площади.

Список литературы

1. Обеспечение качества ракетного двигателя путем внедрения автоматизированной системы изготовления и монтажа трубопроводов сложной конфигурации / Е.Н. Ярцев, В.П. Назаров, Н.С. Теряев // Решетневские чтения: материалы XX Юбилейной междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (09–12 ноября 2016, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск. – 2016. – Ч. 1. – С. 205–206.
2. ГОСТ 92-1600-84 Производство трубопроводов. Общие технические условия. Эталонирование трубопроводных систем, гибка труб и формообразование концов трубопроводов.
3. Теория и практика изготовления элементов трубопроводов летательных аппаратов / С.И. Феоктистов и др. М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т». – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т, 2013. – 88 с.
4. McAllister, E.W. Pipeline rules of thumb handbook: a manual of quick, accurate solution to every day pipeline engineering problem / E.W. McAllister. – Burlington, Ma : Gulf professional publ., 2009. – 747 p.
5. Измерительные машины – Материалы выставки «Металлообработка 2018» в г. Москва.
6. Васильева, А.А. Исследование процесса измерения корпусных деталей на координатно-измерительной машине CARL ZEISS CONTURA G2 / А.А. Васильева, Т.Р. Абляз // Master's Journal. – 2015. – № 1. – С. 54–59.
7. Тигнибидин, А.В. Определение достоверных методик проведения измерений на координатно-измерительных машинах / А.В. Тигнибидин, Л.В. Зайнуллина, В.А. Ромащенко // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 185–191.
8. Современная координатно-измерительная техника в производстве изделий РКТ. Учебное пособие для студентов магистратуры. СибГУ им. академика М.Ф. Решетнева. – Красноярск 2017. – 23 с.
9. Сурков, И.В. Автоматизированные методы и средства измерений, испытаний и контроля в машиностроении: учеб. пособие / И.В. Сурков, В.И. Гузеев, А.Г. Схиртладзе. – Челябинск : ЮУрГУ, 2009. – 337 с.

References

1. Obespecheniye kachestva raketnogo dvigatelya putem vnedreniya avtomatizirovannoy sistemy izgotovleniya i montazha truboprovodov slozhnoy konfiguratsii / Ye.N. Yartsev, V.P. Nazarov, N.S. Teryayev // Reshetnevskiy chteniya: materialy XKH Yubileynoy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva (09–12 noyabrya 2016, g. Krasnoyarsk) : v 2 ch. / pod obshch. red. YU.YU. Loginova; Sib. gos. aerokosmich. un-t. – Krasnoyarsk. – 2016. – CH. 1. – С. 205–206.
2. GOST 92-1600-84 Proizvodstvo truboprovodov. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya. Etalonirovaniye truboprovodnykh sistem, gibka trub i formoobrazovaniye kontsov truboprovodov.
3. Teoriya i praktika izgotovleniya elementov truboprovodov letatel'nykh apparatov / S.I. Feoktistov i dr. M-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Federal'noye gos. byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vyssh. prof. obrazovaniya «Komsomol'skiy-na-Amure gos. tekhnicheskiiy un-t». – Komsomol'sk-na-Amure : Komsomol'skiy-na-Amure gos. tekhnicheskiiy un-t, 2013. – 88 s.
4. McAllister, E.W. Pipeline rules of thumb handbook: a manual of quick, accurate solution to every day pipeline engineering problem / E.W. McAllister. – Burlington, Ma : Gulf professional publ., 2009. – 747 p.
5. Izmeritel'nyye mashiny – Materialy vystavki «MetallООbrabotka 2018» v g. Moskva.
6. Vasil'yeva, A.A. Issledovaniye protsesssa izmereniya korpusnykh detaley na koordinatno-izmeritel'noy mashine CARL ZEISS CONTURA G2 / A.A. Vasil'yeva, T.R. Ablyaz // Master's Journal. –

2015. – № 1. – S. 54–59.

7. Tignibidin, A.V. Opredeleniye dostovernnykh metodik provedeniya izmereniy na koordinatno-izmeritel'nykh mashinakh / A.V. Tignibidin, L.V. Zaynullina, V.A. Romashchenko // *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin.* – 2018. – T. 6. – № 1. – S. 185–191.

8. Sovremennaya koordinatno-izmeritel'naya tekhnika v proizvodstve izdeliy RKT. Uchebnoye posobiye dlya studentov magistratury. SibGU im. akademika M.F. Reshetneva. – Krasnoyarsk, 2017. – 23 с.

9. Surkov, I.V. Avtomatizirovannyye metody i sredstva izmereniy, ispytaniy i kontrolya v mashinostroyenii: ucheb. posobiye / I.V. Surkov, V.I. Guzeyev, A.G. Skhirtladze. – Chelyabinsk : YUUrGU, 2009. – 337 s.

© Н.В. Брижинская, Р.В. Романов, К.А. Вотяков, В.П. Назаров, 2025

УДК 621.9.04

И.Н. ХРУСТАЛЕВА, Л.Г. ЧЕРНЫХ, О.Д. УВАРОВА, Я.Ю. БРОВКИНА

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

МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Ключевые слова: векторный критерий оптимизации; многокритериальная оптимизация; теоретико-множественная модель; технологический переход; технологический процесс.

Аннотация. Оптимизация параметров процесса изготовления изделия является одной из ключевых задач технологической подготовки производства. Эффективность оптимизации процесса изготовления изделия напрямую зависит от уровня его детализации и оптимального выбора целевых показателей и параметров управления. Целью статьи является разработка модели оптимизации параметров технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления изделия на металлорежущем оборудовании. Задачами исследования являются анализ факторов, влияющих на эффективность реализации технологического перехода, формирование векторного критерия оптимизации для технологического перехода, формирование теоретико-множественной модели технологического перехода. В работе представлено описание векторного критерия оптимизации процесса реализации технологического перехода, а также множество параметров управления и граничные условия реализации модели. Представлено описание теоретико-множественной модели технологического перехода.

лей оптимизации производственных процессов, в основе которых лежат цифровые технологии [3–10]. Таким образом, цифровизация производственных процессов является одним из основных направлений развития промышленных предприятий [11]. Цифровые технологии позволяют значительно повысить эффективность хозяйственной деятельности предприятия за счет создания многоуровневой системы, позволяющей оптимизировать параметры производственных потоков на основе многокритериального анализа [12]. В настоящее время вопросы многокритериальной оптимизации и внедрения цифровых технологий в производственный процесс являются одной из наиболее актуальных задач в области машиностроения, что подтверждается многочисленными публикациями в научной литературе [13–15]. Решение задачи многокритериальной оптимизации производственных процессов базируется на анализе большого объема информации и не может быть эффективно выполнено без применения искусственного интеллекта и технологий *Big Data* [16].

Целью работы является разработка модели оптимизации параметров технологических переходов, реализуемых в процессе изготовления изделия на металлорежущем оборудовании.

Теоретико-множественная модель технологического перехода

Введение

В современных экономических условиях повышение эффективности производственного процесса путем оптимизации технологических параметров является приоритетной задачей для промышленных предприятий [1; 2]. Данной научной задаче посвящено большое количество работ, связанных с разработкой методов и моде-

В основе оптимизации любого процесса лежат его формализованная модель, содержащая подмножества параметров, характеризующих условия его реализации. Определена следующая структура теоретико-множественной модели n -го технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления изделия на металлообрабатывающем оборудовании:

$$\begin{aligned}
TechTr_{zn}^{Pr} = & \{((El^{Pr})_{zn}^{TechTr} | (El^{Pr})_{zn}^{TechTr} \neq \emptyset), \\
& (V_{El}^{Pr})_{zn}^{TechTr}, \\
& ((M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr} | (M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \neq \emptyset), \\
& ((TechEq_{zn}^{Pr})_{zn}^{TechTr} | (TechEq_{zn}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \neq \emptyset), \\
& ((PMen^{Pr})_{zn}^{TechTr} | (PMen^{Pr})_{zn}^{TechTr} \neq \emptyset), \\
& ((Tr^{Pr})_{zn}^{TechTr} | (Tr^{Pr})_{zn}^{TechTr} \neq \emptyset)\},
\end{aligned}$$

где $TechTr_{zn}^{Pr}$ – теоретико-множественная модель n -го технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия на металлообрабатывающем оборудовании; $(El^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – подмножество элементов, формирующих структуру n -го технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия; $(V_{El}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – матрица параметров взаимосвязи элементов n -го технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия; $(M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – подмножество состояний z -го изделия, сформированных в процессе реализации n -го технологического перехода; $(TechEq_{zn}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – подмножество средств технологического оснащения, применяемого в процессе реализации n -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия; $(PMen^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – подмножество параметров управления процессом реализации n -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия.

Подмножество элементов, формирующих структуру n -го технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия, имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned}
(El^{Pr})_{zn}^{TechTr} = & \{ \{ WSt_{zg}^{Pr} | WSt_{zg}^{Pr} \in (M_{баз}^{Pr})_{z}^{ЭлПрФорм} \}, \\
& \{ ATr_{zn}^{Pr} | ATr_{zn}^{Pr} \in (M_{баз}^{Pr})_{z}^{ЭлПрФорм}, \\
& (V_{WSt}^{Pr})_{zn}^{TechTr}, (V_{ATr}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \}, \\
& (V_{El}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \cdot (M_{баз}^{Pr})_{z}^{ЭлПрФорм} = \\
& \left(\begin{pmatrix} (v_{WSt}^{Pr})_1^{TechTr} \\ \dots \\ (v_{WSt}^{Pr})_j^{TechTr} \end{pmatrix} \cdot (WSt_{z1}^{Pr} \dots WSt_{zi}^{Pr}) = \right. \\
& = (v_{WSt}^{Pr})_1^{TechTr} \cdot WSt_{z1}^{Pr} + \dots + \\
& \left. (v_{WSt}^{Pr})_j^{TechTr} \cdot WSt_{zi}^{Pr}, \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
WSt_{zi}^{Pr} \in (El^{Pr})_{zn}^{TechTr}, (v_{WSt}^{Pr})_j^{TechTr} = 1, \\
(v_{ATr}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \cdot (M_{баз}^{Pr})_z^{ЭлПрФорм} = \\
\left(\begin{pmatrix} (v_{ATr}^{Pr})_1^{TechTr} \\ \dots \\ (v_{ATr}^{Pr})_j^{TechTr} \end{pmatrix} \cdot (ATr_{z1}^{TechTr} \dots ATr_{zi}^{TechTr}) = \right. \\
(v_{ATr}^{Pr})_1^{TechTr} \cdot ATr_{z1}^{TechTr} + \dots + \\
(v_{ATr}^{Pr})_j^{TechTr} \cdot ATr_{zi}^{TechTr}, \\
ATr_{zi}^{TechTr} \in (El_{бснлср}^{Pr})_{zn}^{TechTr}, (v_{ATr}^{Pr})_j^{TechTr} = 1,
\end{aligned}$$

где WSt_{zg}^{Pr} – множество параметров, характеризующих g -ый рабочий ход, выполняемый в процессе изготовления z -го изделия; $(M_{баз}^{Pr})_z^{ЭлПрФорм}$ – матрица элементов процесса формообразования, реализуемых в процессе изготовления z -го изделия; ATr_{zi}^{Pr} – множество параметров, характеризующих i -ый вспомогательный переход, выполняемый в процессе изготовления z -го изделия; $(V_{WSt}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – матрица параметров соответствия рабочих ходов, реализуемых в процессе изготовления z -го изделия, n -му технологическому переходу; $(V_{ATr}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – матрица параметров соответствия вспомогательных переходов, реализуемых в процессе изготовления z -го изделия, n -му технологическому переходу; $(v_{WSt}^{Pr})_j^{TechTr} = 0 \vee (v_{WSt}^{Pr})_j^{TechTr} = 1 - j$ -ый параметр соответствия рабочего хода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия, n -му технологическому переходу; $(v_{ATr}^{Pr})_j^{TechTr} = 0 \vee (v_{WSt}^{Pr})_j^{TechTr} = 1 - j$ -ый параметр соответствия технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия, n -му технологическому переходу.

Матрица параметров взаимосвязи между i -ым предшествующим элементом и j -ым последующим элементом n -го технологического перехода имеет вид:

$$(V_{El}^{Pr})_{zn}^{TechTr} = \begin{pmatrix} (v_{El}^{Pr})_{11}^{TechTr} & (v_{El}^{Pr})_{21}^{TechTr} & \dots \\ (v_{El}^{Pr})_{12}^{TechTr} & (v_{El}^{Pr})_{22}^{TechTr} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ (v_{El}^{Pr})_{1(j-1)}^{TechTr} & (v_{El}^{Pr})_{2(j-1)}^{TechTr} & \dots \\ (v_{El}^{Pr})_{1j}^{TechTr} & (v_{El}^{Pr})_{2j}^{TechTr} & \dots \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} (v_{El.}^{Pr})_{(i-1)1}^{TechTr} & (v_{El.}^{Pr})_{i1}^{TechTr} \\ (v_{El.}^{Pr})_{(i-1)2}^{TechTr} & (v_{El.}^{Pr})_{i2}^{TechTr} \\ \dots & \dots \\ (v_{El.}^{Pr})_{(i-1)(j-1)}^{TechTr} & (v_{El.}^{Pr})_{i(j-1)}^{TechTr} \\ (v_{El.}^{Pr})_{(i-1)j}^{TechTr} & (v_{El.}^{Pr})_{ij}^{TechTr} \end{pmatrix},$$

где $(v_{El.}^{Pr})_{ij}^{TechTr}$ – параметр, характеризующий взаимосвязь i -го предшествующего элемента и j -го последующего элемента n -го технологического перехода.

Значение параметра $(v_{El.}^{Pr})_{ij}^{TechTr} \in [0; (r + p - 1)]$, $(v_{El.}^{Pr})_{ij}^{TechTr} \in \mathbb{N}$, где r – количество рабочих ходов, реализуемых в структуре n -го технологического перехода, шт.; p – количество вспомогательных переходов, реализуемых в структуре n -го технологического перехода, шт. Значение параметра $(v_{El.}^{Pr})_{ij}^{TechTr} = 0$ характеризует отсутствие взаимосвязи между i -ым и j -ым элементами n -го технологического перехода. Значение параметра $1 \leq (v_{El.}^{Pr})_{ij}^{TechTr} \leq (r + p - 1)$ характеризует наличие взаимосвязи и определяет порядковый номер взаимодействия соответствующих структурных элементов в рамках n -го технологического перехода.

Подмножество состояний z -го изделия, сформированных в процессе реализации n -го технологического перехода, имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} & (M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr} = \\ & \{((Con_{zn}^{Pr})_{TechTr/wp} | (Con_{zn}^{Pr})_{TechTr/wp} \neq \emptyset), \\ & (M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr/Int}, \\ & ((Con_{zn}^{Pr})_{TechTr/pr} | (Con_{zn}^{Pr})_{TechTr/pr} \neq \emptyset), \\ & (M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr/Int}\}, \end{aligned}$$

где $(Con_{zn}^{Pr})_{TechTr/wp}$ – подмножество параметров, характеризующих состояние z -го изделия до реализации n -го технологического перехода; $(M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr/Int}$ – подмножество промежуточных состояний z -го изделия, сформированных в процессе реализации n -го технологического перехода; $(M_{con}^{Pr})_{zn}^{TechTr/Int}$ – подмножество параметров, характеризующих состояние z -го изделия после реализации n -го технологического

перехода; $(Con_{zn}^{Pr})_{TechTr/pr}$ – подмножество параметров, характеризующих состояние z -го изделия после реализации n -го технологического перехода.

Подмножество средств технологического оснащения, применяемых в процессе изготовления z -го изделия при реализации n -го технологического перехода, имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} & (TechEq_{zn}^{Pr})^{TechTr} = \\ & \{ \{CTI_{zi} | (CTI_{zi} \in (M_{\delta az}^{Pr})_z^{CTI}), (V_{CTI}^{Pr})_{zn}^{TechTr}\}, \\ & (V_{CTI}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \cdot (M_{\delta az}^{Pr})_z^{CTI} = \\ & \begin{pmatrix} (v_{CTI}^{Pr})_1^{TechTr} \\ \dots \\ (v_{CTI}^{Pr})_j^{TechTr} \end{pmatrix} \cdot (CTI_{z1}^{Pr} \dots CTI_{zi}^{Pr}) = \\ & (v_{CTI}^{Pr})_1^{TechTr} \cdot CTI_{z1}^{Pr} + \dots + (v_{CTI}^{Pr})_j^{TechTr} \cdot CTI_{zi}^{Pr}, \\ & CTI_{zi}^{Pr} \in (TechEq_{zn}^{Pr})^{TechTr}, (v_{CTI}^{Pr})_j^{TechTr}, \end{aligned}$$

где CTI_{zi} – множество параметров, характеризующих i -ую единицу режущего инструмента, применяемого в процессе изготовления z -го изделия; $(V_{CTI}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – матрица параметров соответствия i -ой единицы режущего инструмента n -му технологическому переходу, реализуемому в процессе изготовления z -го изделия; $(v_{CTI}^{Pr})_j^{TechTr}$, $(v_{CTI}^{Pr})_j^{TechTr} = 0 \forall (v_{CTI}^{Pr})_j^{TechTr} = 1$ – j -ый параметр соответствия i -ой единицы режущего инструмента n -му технологическому переходу, реализуемому при изготовлении z -го изделия; $(M_{\delta az}^{Pr})_z^{CTI}$ – базовая матрица режущих инструментов, применяемых в процессе изготовления z -го изделия.

Подмножество параметров управления процессом реализации n -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} & (PMen^{Pr})_{zn}^{TechTr} = \\ & \{ \{Pm_{zi}^{Pr}, \dots, Pm_{zi}^{Pr}\}, (V_{PMen}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \} = \\ & \{ \{ (Type_{PMen}^{Pr})_{zi}, (Vol_{PMen}^{Pr})_{zi}^{min}, \\ & (Vol_{PMen}^{Pr})_{zi}^{max} | (Type_{PMen}^{Pr})_{zi} \in (M_{\delta az}^{Pr})_z^{PMen} \}, \\ & (V_{PMen}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \}, \\ & (V_{PMen}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \cdot (M_{\delta az}^{Pr})_z^{PMen} = \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} (v_{PMen}^{Pr})_1^{TechTr} \\ \dots \\ (v_{PMen}^{Pr})_j^{TechTr} \end{pmatrix} \cdot ((Type_{PMen}^{Pr})_{z1} \dots (Type_{PMen}^{Pr})_{zi}) = (v_{PMen}^{Pr})_1^{TechTr} \cdot (Type_{PMen}^{Pr})_{z1} + \dots + (v_{PMen}^{Pr})_j^{TechTr} \cdot (Type_{PMen}^{Pr})_{zi}, (Type_{PMen}^{Pr})_{zi} \in (PMen^{Pr})_{zn}^{TechTr}, (v_{PMen}^{Pr})_j^{TechTr} = 1,$$

где Pm_{zi}^{Pr} – i -ый параметр управления процессом реализации n -го технологического перехода, выполняемого в процессе изготовления z -го изделия; $(Type_{PMen}^{Pr})_{zi}$ – параметр, характеризующий тип i -го параметра управления процессом реализации n -го технологического перехода, выполняемого в процессе изготовления z -го изделия; $(Vol_{PMen}^{Pr})_{zi}^{min}$ – параметр, характеризующий нижний предел диапазона варьирования i -го типа параметра управления процессом реализации n -го технологического перехода, выполняемого в процессе изготовления z -го изделия; $(Vol_{PMen}^{Pr})_{zi}^{max}$ – параметр, характеризующий верхний предел диапазона варьирования i -го типа параметра управления процессом реализации n -го технологического перехода, выполняемого в процессе изготовления z -го изделия; $(V_{PMen}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – матрица параметров соответствия типов параметров управления процессом формообразования z -го изделия n -му технологическому переходу; $(v_{PMen}^{Pr})_j^{TechTr}$, $(v_{PMen}^{Pr})_j^{TechTr} = 0 \vee (v_{PMen}^{Pr})_j^{TechTr} = 1 - j$ -ый параметр соответствия i -го типа параметра управления n -му технологическому переходу, реализуемому в процессе изготовления z -го изделия; $(M_{baz}^{Pr})_z^{PMen}$ – базовая матрица параметров управления процессом изготовления z -го изделия.

Определена следующая структура подмножества $(Tr^{Pr})_{zn}^{TechTr}$:

$$\begin{aligned} (Tr^{Pr})_{zn}^{TechTr} = & \{ \{Tr_{z1}^{Pr}, \dots, Tr_{zi}^{Pr}\}, (V_{Tr}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \} = \\ & \{ \{ (Type_{Tr}^{Pr})_{zi}, (Vol_{Tr}^{Pr})_{zi} \} | (Type_{Tr}^{Pr})_{zi} \in (M_{baz}^{Pr})_z^{Tr} \}, \\ & (V_{Tr}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{Tr}^{Pr})_{zn}^{TechTr} \cdot (M_{baz}^{Pr})_z^{Tr} = & \begin{pmatrix} (v_{Tr}^{Pr})_1^{TechTr} \\ \dots \\ (v_{Tr}^{Pr})_j^{TechTr} \end{pmatrix} \cdot ((Type_{Tr}^{Pr})_{z1} \dots (Type_{Tr}^{Pr})_{zi}) = \\ & (v_{Tr}^{Pr})_1^{TechTr} \cdot (Type_{Tr}^{Pr})_{z1} + \dots + \\ & (v_{Tr}^{Pr})_j^{TechTr} \cdot (Type_{Tr}^{Pr})_{zi}, \\ & (Type_{Tr}^{Pr})_{zi} \in (Tr^{Pr})_{zn}^{TechTr}, (v_{Tr}^{Pr})_j^{TechTr} = 1, \end{aligned}$$

где Tr_{zi} – i -ый целевой показатель, характеризующий процесс изготовления z -го изделия; $(Type_{Tr}^{Pr})_{zi}$ – параметр, характеризующий тип i -го целевого показателя, описывающего процесс изготовления z -го изделия; $(Vol_{Tr}^{Pr})_{zi}$ – значение i -го типа целевого показателя, характеризующего процесс изготовления z -го изделия; $(V_{Tr}^{Pr})_{zn}^{TechTr}$ – матрица параметров соответствия i -го типа целевого показателя n -му технологическому переходу, реализуемому в процессе изготовления z -го изделия; $(v_{Tr}^{Pr})_j^{TechTr}$, $(v_{Tr}^{Pr})_j^{TechTr} = 0 \vee (v_{Tr}^{Pr})_j^{TechTr} = 1 - j$ -ый параметр соответствия i -го типа целевого показателя n -му технологическому переходу, реализуемому в процессе изготовления z -го изделия; $(M_{baz}^{Pr})_z^{Tr}$ – базовая матрица целевых показателей, характеризующих процесс изготовления z -го изделия.

Постановка задачи управления процессом реализации технологического перехода, выполняемого в процессе изготовления изделия

Оптимизация параметров технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления изделия на металлорежущем оборудовании, производится на основе векторного критерия оптимизации, имеющего следующую структуру:

$$\begin{aligned} F_{Pr}^{TechTr} = & ((Tr_{TechTr}^{Pr})_{zt} (U_{TechTr}^{Pr}), \\ & (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt} (U_{TechTr}^{Pr}), \\ & (I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt} (U_{TechTr}^{Pr}), \\ & (I_{zt}^{Pr/SfT})^{TexПep} (U_{TechTr}^{Pr})), \end{aligned}$$

где U_{TechTr}^{Pr} – множество параметров управления процессом реализации технологического перехода; $(T_{TechTr}^{Pr})_{zt}$ – целевой показатель, характеризующий величину трудоемкости реализации основных действий и вспомогательных переходов, выполняемых в рамках t -го технологического перехода в процессе изготовления z -го изделия, мин; $(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}$ – целевой показатель, характеризующий величину операционных затрат, возникающих в результате реализации основных действий и вспомогательных переходов, выполняемых в рамках t -го технологического перехода в процессе изготовления z -го изделия, мин.; $(I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt}$ – целевой показатель, характеризующий уровень точности исполнения геометрических параметров, описывающих конфигурацию z -го изделия после реализации t -го технологического перехода; $(I_{zt}^{Pr/SIT})_{TexПep}$ – целевой показатель, характеризующий точность исполнения параметров текстуры поверхности z -го изделия, сформированных в процессе реализации t -го технологического перехода.

Расчет величины целевого показателя $(T_{TechTr}^{Pr})_{zt}$ производится по формуле:

$$(T_{TechTr}^{Pr})_{zt} = (T_{TechPr}^{Pr})_{zt}^{MAC} + (T_{TechPr}^{Pr})_{zt}^{ATr} = \sum_{f=1}^{(N_{zt}^{Pr})^{av}} \frac{(l_f^{DEL})^{Wst} \cdot (h_{qm}^{DEL})^{av}}{t_{zt}^{av} \cdot s_{zt}^{av} \cdot v_{zt}^{av}} + v_i^{AMov} \cdot (L_{AMov}^{DEL})_{tj}^{Pr}$$

где $(T_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{MAC}$ – параметр, характеризующий величину трудоемкости реализации основных действий, выполняемых в рамках t -го технологического перехода в процессе изготовления z -го изделия, мин.; $(T_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{ATr}$ – параметр, характеризующий величину трудоемкости реализации вспомогательных переходов, выполняемых в рамках t -го технологического перехода в процессе изготовления z -го изделия, мин.; $(l_f^{DEL})^{Wst}$ – параметр, характеризующий общую длину траектории движения режущего инструмента в процессе реализации f -го технологического перехода, выполняемого при изготовлении z -го изделия, мм; $(L_{AMov}^{DEL})_{tj}^{Pr}$ – параметр, характеризующий общую длину траектории движения режущего инструмента на ускоренном перемещении, мм; t_{zt}^{av} – параметр, характеризующий среднюю величину глубины резания, устанавливаемую в процессе реализа-

ции t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, мм; s_{zt}^{av} – параметр, характеризующий среднюю величину подачи, устанавливаемую в процессе реализации t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, мм/об; v_{zt}^{av} – параметр, характеризующий среднюю величину скорости резания, устанавливаемую в процессе реализации t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, м/мин.; $(N_{zt}^{Pr})^{av}$ – параметр, характеризующий среднее количество рабочих ходов в структуре t -го технологического перехода, реализуемого в процессе изготовления z -го изделия, шт.

Расчет величины целевого показателя $(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}$ производится по формуле:

$$(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt} = (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{wag} + (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{am} + (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{el} + (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{rep},$$

где $(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{wag}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на заработную плату производственного рабочего, реализующего основные действия и вспомогательные переходы, выполняемые в рамках t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, руб.; $(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{am}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на амортизационные отчисления на металлообрабатывающее оборудование, применяемого в процессе реализации основных действий и вспомогательных переходов, выполняемых в рамках t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, руб.; $(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{el}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на оплату электроэнергии, необходимую для реализации основных действий и вспомогательных переходов, выполняемых в рамках t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, руб.; $(OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{rep}$ – параметр, характеризующий величину операционных затрат на ремонт и обслуживание металлообрабатывающего оборудования, применяемого для реализации основных действий и вспомогательных переходов, выполняемых в рамках t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, руб.

Расчет величины целевого показателя $(I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt}$ производится по формулам:

$$\begin{aligned} (I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt} = \\ \sum_{i=1}^{(N_{zt}^{GPr})^{Pr}} \sum_{m=1}^{(N_{im}^{GPr})^{TechTr}} * \\ \left(\frac{Err_{zt}^{GPr/TechPr}}{(IT_{zt}^{GPr})_{im}} \right)_i \cdot (\alpha_{zt}^{GPr/TechPr})_i. \\ \sum_{i=1}^{(N_{zt}^{GPr})^{Pr}} (\alpha_{zt}^{GPr/TechPr})_i = 1, \end{aligned}$$

где $(Err_{zt}^{GPr/TechPr})_i$ – параметр, характеризующий среднюю величину погрешности исполнения i -го геометрического параметра, формируемого в процессе реализации t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, мкм; $(IT_{zt}^{GPr})_{im}$ – параметр, характеризующий величину поля допуска i -го геометрического параметра, описывающего конфигурацию z -го изделия, в процессе реализации t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, мкм; $(\alpha_{zt}^{GPr/TechPr})_i$ – параметр, характеризующий удельный вес i -го геометрического параметра, описывающего конфигурацию z -го изделия, формируемого в рамках t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия; $(N_{zt}^{GPr})^{Pr}$ – параметр, характеризующий количество геометрических параметров, формируемых в процессе реализации t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, шт.

Расчет величины целевого показателя $(I_{zt}^{Pr/SfT})^{TechTr}$ производится по формулам:

$$\begin{aligned} (I_{zt}^{Pr/SfT})^{TechTr} = \\ \sum_{q=1}^{N_{zt}^{DEl}} \sum_{j=1}^{(N_{mj}^{DEl})^{SfT}} ((\delta_{qm}^{SfT})_j \cdot (\alpha_{qm}^{DEl/SfT})_j), \\ \sum_{q=1}^{N_{qt}^{DEl}} \sum_{j=1}^{(N_{mj}^{DEl})^{SfT}} (\alpha_{qm}^{DEl/SfT})_j = 1; \end{aligned}$$

$$(\delta_{qm}^{SfT})_j = \begin{cases} \frac{(Vol_{qm}^{SfT})_j^{nom.} - (Vol_{qm}^{SfT})_j^{cal.}}{(Vol_{qm}^{SfT})_j^{nom.}}, & (Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 0 \\ \frac{(Vol_{qm}^{SfT})_j^{cal.} - (Vol_{qm}^{SfT})_j^{nom.}}{(Vol_{qm}^{SfT})_j^{nom.}}, & (Type_j^{CrOpt})^{SfT} = 1, \end{cases}$$

где $(\delta_{qm}^{SfT})_j$ – параметр, характеризующий долю отклонения расчетного значения j -го параметра текстуры поверхности, формируемого в процессе реализации m -го технологического перехода при формообразовании q -го элемента, от номинального значения; $(\alpha_{qm}^{DEl/SfT})_j$ – параметр, характеризующий удельный вес j -го параметра текстуры поверхности q -го конструкторского элемента, формируемого в рамках m -го технологического перехода; $(Vol_{qm}^{SfT})_j^{nom.}$ – параметр, характеризующий номинальную величину j -го параметра текстуры поверхности, сформированного в результате реализации m -го технологического перехода; $(Vol_{qm}^{SfT})_j^{cal.}$ – параметр, характеризующий среднюю расчетную величину j -го параметра текстуры поверхности, сформированного в результате реализации m -го технологического перехода при формообразовании q -го конструкторского элемента; N_{qt}^{DEl} – параметр, характеризующий количество конструкторских элементов, формообразование которых производится в рамках t -го технологического перехода при изготовлении z -го изделия, шт.; $(N_{mj}^{DEl})^{SfT}$ – параметр, характеризующий количество параметров текстуры поверхности q -го конструкторского элемента, формируемых в процессе реализации t -го технологического перехода, шт.

Множество параметров управления (U_{TechTr}^{DEl}) имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} (U_{TechTr}^{Pr}) = \{ & (v_{zt}^{av} | v_{zt}^{av} \in [(v_{zt}^{av})_{min}; (v_{zt}^{av})_{max}]), \\ & (s_{zt}^{av} | s_{zt}^{av} \in [(s_{zt}^{av})_{min}; (s_{zt}^{av})_{max}]), \\ & (t_{zt}^{av} | t_{zt}^{av} \in [(t_{zt}^{av})_{min}; (t_{zt}^{av})_{max}]), \\ & (T_{zt}^{av} | T_{zt}^{av} \in [(T_{zt}^{av})_{min}; (T_{zt}^{av})_{max}]), \\ & (Scm_{zt}^{Osp} | Scm_{zt}^{Osp} \in (M_{zt}^{Pr/TechTr})^{Scm}) \}, \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{aligned}
 (T_{TechTr}^{Pr})_{zt} &= \sum_{j=1}^{(N_{zt}^{Pr})^{av}} \frac{(l_f^{Del})_{wst} \cdot (h_{qm}^{Del})_{av}}{t_{zt}^{av} \cdot s_{zt}^{av} \cdot v_{zt}^{av}} + v_i^{AMov} \cdot (L_{AMov}^{Del})_{tj} \rightarrow \min, \\
 (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt} &= (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{wag} + (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{am} + \\
 &\quad (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{el} + (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt}^{rep} \rightarrow \min, \\
 (I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt} &= \sum_{i=1}^{(N_{zt}^{GPr})^{Pr}} \sum_{m=1}^{(N_{im}^{GPr})^{TechTr}} \left(\frac{(Err_{zt}^{GPr/TechPr})_i}{(IT_{zt}^{GPr})_{im}} \cdot (\alpha_{zt}^{GPr/TechPr})_i \right) \rightarrow \min, \\
 (I_{zt}^{Pr/SfT})^{TechTr} &= \sum_{q=1}^{N_{zt}^{Del}} \sum_{j=1}^{(N_{mj}^{Del})^{SfT}} ((\delta_{qm}^{SfT})_j \cdot (\alpha_{qm}^{Del/SfT})_j) \rightarrow \max, \\
 \sum_{t=1}^{(N_{zp}^{Pr})^{TechPr}} (T_{TechPr}^{Pr})_{zt} &\leq (T_{TechOp}^{Pr})_{zp} - (T_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{Aux} - (T_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{PFT}, \\
 \sum_{t=1}^{(N_{zp}^{Pr})^{TechTr}} (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt} &\leq (OPEX_{TechOp}^{Pr})_{zp} - (OPEX_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{Aux} - (OPEX_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{PFT}, \\
 (I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt} &\leq 1, \\
 (I_{zt}^{3K/SfT})^{TechTr} &\leq 1, \\
 (Err_{zt}^{GPr/TechTr})_{im}^{av} &\leq (IT_{zt}^{GPr})_{im}, \\
 (v_{zt}^{av})_{min} &\leq v_{zt}^{av} \leq (v_{zt}^{av})_{max}, \\
 (s_{zt}^{av})_{min} &\leq s_{zt}^{av} \leq (s_{zt}^{av})_{max}, \\
 (t_{zt}^{av})_{min} &\leq t_{zt}^{av} \leq (t_{zt}^{av})_{max}, \\
 T_{zt}^{min} &\leq T_{zt} \leq T_{zt}^{max}.
 \end{aligned} \right.$$

Рис. 1. Математическая модель оптимизации параметров технологического перехода

где $(v_{zt}^{av})_{min}$ и $(v_{zt}^{av})_{max}$ – параметры, характеризующие минимальное и максимальное значения скорости резания соответственно, м/мин.; $(s_{zt}^{av})_{min}$ и $(s_{zt}^{av})_{max}$ – параметры, характеризующие минимальное и максимальное значения подачи соответственно, мм/об.; $(t_{zt}^{av})_{min}$ и $(t_{zt}^{av})_{max}$ – параметры, характеризующие минимальное и максимальное значения глубины резания соответственно, мм/об.; T_{zt}^{av} – параметр, характеризующий значение стойкости режущего инструмента, мин.; $(T_{zt}^{av})_{min}$ и $(T_{zt}^{av})_{max}$ – параметры, характеризующие минимальное и максимальное значения стойкости режущего инструмента соответственно, мм/об.; $Scm_{zt}^{Обр}$ – параметр, характеризующий схему обработки конструкторского элемента; $(M_{zt}^{Pr/TechTr})^{Scm}$ – множество параметров, характеризующих схему обработки конструкторского элемента.

Определены следующие граничные условия реализации модели:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \sum_{t=1}^{(N_{zp}^{Pr})^{TechPr}} (T_{TechPr}^{Pr})_{zt} &\leq (T_{TechOp}^{Pr})_{zp} - \\
 &\quad (T_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{Aux} - (T_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{PFT}, \\
 \sum_{t=1}^{(N_{zp}^{Pr})^{TechTr}} (OPEX_{TechTr}^{Pr})_{zt} &\leq (OPEX_{TechOp}^{Pr})_{zp} - \\
 &\quad (OPEX_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{Aux} - (OPEX_{TechOp}^{Pr})_{zp}^{PFT}, \\
 (I_{TechTr}^{Pr/GPr})_{zt} &\leq 1, \\
 (I_{zt}^{3K/SfT})^{TechTr} &\leq 1, \\
 (Err_{zt}^{GPr/TechTr})_{im}^{av} &\leq (IT_{zt}^{GPr})_{im}, \\
 (v_{zt}^{av})_{min} &\leq v_{zt}^{av} \leq (v_{zt}^{av})_{max},
 \end{aligned} \right.$$

$$(s_{zt}^{av})_{min} \leq s_{zt}^{av} \leq (s_{zt}^{av})_{max},$$

$$(t_{zt}^{av})_{min} \leq t_{zt}^{av} \leq (t_{zt}^{av})_{max},$$

$$T_{zt}^{min} \leq T_{zt} \leq T_{zt}^{max}.$$

Оптимизация параметров технологического перехода производится на основе математической модели, представленной на рис. 1.

Оптимизация параметров технологичес-

кого перехода является ключевым фактором повышения эффективности процесса изготовления изделия. Эффективность процесса оптимизации напрямую зависит от степени детализации объекта управления. Представленная в работе оптимизационная модель позволяет повысить эффективность процесса реализации технологического перехода, выполняемого в процессе изготовления изделия, что в конечном итоге способствует повышению его качества.

Список литературы

1. Черных, Л.Г. Расчет систематической составляющей первичного профиля с учетом относительных колебаний / Л.Г. Черных, С.Н. Степанов, И.Н. Хрусталева // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 4(142). – С. 113–116.
2. Повышение эффективности технологического процесса сборки на основе имитационного моделирования / И.Н. Хрусталева, Д.П. Гасюк, Л.Г. Черных [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 7(133). – С. 147–152.
3. Kostenko, D. Solving Multicriteria Optimization Problem for an Oil Refinery Plant / D. Kostenko, V. Shkodyrev, V. Onufriev // Roceedings of International Scientific Conference on Telecommunications, Computing and Control, 2021. – P. 131–140.
4. Костенко, Д.А. Многокритериальная оптимизация ректификационного процесса по алгоритму SPEA2 / Д.А. Костенко, В.А. Онуфриев, В.П. Шкодырев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2019. – Т. 12. – № 2. – С. 39–49.
5. 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.
6. Yassine, H.M. The intelligent control system of optimal oil manufacturing production / H.M. Yassine, V.P. Shkodyrev // ACM International Conference Proceeding Series : 3. – Tokyo, 2020. – P. 131–135.
7. Иванов, В.К. Интегрированная система моделирования и управления возможностями предприятия / В.К. Иванов // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 7. – С. 34–39.
8. Терехова, А.С. Концепция методики выбора оптимальной технологии, учитывающей возможности конкретного производственного подразделения / А.С. Терехова, М.Л. Петров // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева: научный журнал. – Рыбинск: РГТУ. – 2018. – № 3. – С. 88–93.
9. Кротов, К.В. Алгоритм метода ветвей и границ оптимизации расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах / К.В. Кротов // Информационно-управляющие системы. – 2023. – № 2. – С. 15–26.
10. Иванов, А.А. Формализация задачи составления оптимального плана реализации технологических процессов механической обработки в многономенклатурном производстве / А.А. Иванов, П.Ю. Бочкарев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 56. – С. 61–69.
11. Savelyeva, N. Implementation of Simulation Modeling of Single and High-Volume Machine-Building Productions / N. Savelyeva, T. Nikonova, G. Zhetessova [et al.] // DESIGNS. – 2024. – No. 8(2). – P. 24.
12. Improving the efficiency of technological preparation of single and small batch production based on simulation modeling / S.A. Lyubomudrov, I.N. Khrustaleva, A.A. Tolstoles, A.P. Maslakov // Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 240. – P. 669–677.
13. Mingxu Fan. Experimental investigation on cutting force and machining parameters optimization in in-situ laser-assisted machining of glass–ceramic / Mingxu Fan, Xiaoqin Zhou, Jinzhou Song // Optics

& Laser Technology. – 2024. – Vol. 169. – P. 110109.

14. Weiye Li. Multi-agent evolution reinforcement learning method for machining parameters optimization based on bootstrap aggregating graph attention network simulated environment / Weiye Li, Songping He, Xinyong Mao, Bin Li, Chaochao Qiu, Jinwen Yu, Fangyu Peng, Xin Tan // Journal of Manufacturing Systems. – 2023. – Vol. 67. – P. 424–438.

15. Fatlume Zhujani. Mathematical modeling and optimization of machining parameters in CNC turning process of Inconel 718 using the Taguchi method / Fatlume Zhujani, Georgi Todorov, Konstantin Kamberov, Fitore Abdullahu // Journal of Engineering Research, 2023. – P. 2307–1877.

16. Xingsen Li. Challenges of Industrial Engineering in Big Data Environment and Its new Directions on Extension Intelligence / Xingsen Li, Defa Liu, Junwen Sun, Zhengxiang Zhu // Procedia Computer Science. – 2022. – Vol. 214. – P. 1561–1567.

References

1. Chernykh, L.G. Raschet sistematicheskoy sostavlyayushchey pervichnogo profilya s uchetom otnositel'nykh kolebaniy / L.G. Chernykh, S.N. Stepanov, I.N. Khrustaleva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 4(142). – S. 113–116.

2. Povysheniye effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa sborki na osnove imitatsionnogo modelirovaniya / I.N. Khrustaleva, D.P. Gasyuk, L.G. Chernykh [i dr.] // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 7(133). – S. 147–152.

4. Kostenko, D.A. Mnogokriterial'naya optimizatsiya rektifikatsionnogo protsessa po algoritmu SPEA2 / D.A. Kostenko, V.A. Onufriyev, V.P. Shkodyrev // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – 2019. – T. 12. – № 2. – S. 39–49.

7. Ivanov, V.K. Integrirovannaya sistema modelirovaniya i upravleniya vozmozhnostyami predpriyatiya / V.K. Ivanov // Avtomatizatsiya i sovremennyye tekhnologii. – 2012. – № 7. – S. 34–39.

8. Terekhova, A.S. Kontseptsiya metodiki vybora optimal'noy tekhnologii, uchityvayushchey vozmozhnosti konkretnogo proizvodstvennogo podrazdeleniya / A.S. Terekhova, M.L. Petrov // Vestnik Rybinskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta imeni P.A. Solov'yeva: nauchnyy zhurnal. – Rybinsk: RGATU. – 2018. – № 3. – S. 88–93.

9. Krotov, K.V. Algoritm metoda vetvey i granits optimizatsii raspisaniy vypolneniya paketov zadaniy v konveyernykh sistemakh / K.V. Krotov // Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy. – 2023. – № 2. – S. 15–26.

10. Ivanov, A.A. Formalizatsiya zadachi sostavleniya optimal'nogo plana realizatsii tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoy obrabotki v mnogonomenklaturnom proizvodstve / A.A. Ivanov, P.YU. Bochkarev // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – № 56. – S. 61–69.

© И.Н. Хрусталева, Л.Г. Черных, О.Д. Уварова, Я.Ю. Бровкина, 2025

УДК 62-51

А.Х. ЦЕЧОЕВА

ФГБОУ ВО «Ингушский государственный университет», г. Магас

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Ключевые слова: модернизация; оборудование; обработка; технологический процесс.

Аннотация. В качестве цели в статье будут рассмотрены методы модернизации обработки материалов в технологическом процессе, выявлены задачи, гипотеза исследования, методы и достигнутые результаты.

Поставлена задача оценить роль и возможности применения методов модернизации обработки материалов в технологическом процессе.

Выдвинута гипотеза о том, что для модернизации методов обработки необходимы совершенствование и создание высокоэффективного оборудования. Новое модернизированное оборудование позволит повышать показатель надежности и качество выпускаемой продукции.

Сделан вывод о том, что совершенствование технологических процессов является основой для развития современного производства.

В настоящее время интенсификация технологических процессов приводит к большим плотностям потока энергии и высоким скоростям их изменения. Эти процессы сопровождаются преобразованием видов энергии, а нередко и изменениями фазового состояния конденсированных сред, и могут привести к большим градиентам температуры. В зависимости от состояния вещества и скорости ударно-волнового воздействия приложенные внешние и тепловые нагрузки вызывают существенные структурные изменения у конструкционных материалов с высокомолекулярным строением [1].

Менее изучены конструкционные полимерные материалы, которые представляют собой важный класс веществ, обладающих уникальными физическими свойствами и имеющих сложные фазовые диаграммы. Эти вещества, как и металлы, используются в различных кон-

струкциях, подверженных воздействию интенсивных импульсных нагрузок.

В связи с развитием перспективных направлений науки и техники (машиностроения, авиакосмических, лазерно-пучковых технологий, управляемого термоядерного синтеза и т.д.) важной задачей физики высоких плотностей энергии является построение широкодиапазонных уравнений состояния полимеров разных классов. Трудность исследования теоретического расчета уравнений состояния связана с необходимостью учета сложного внутримолекулярного строения и взаимодействия полимерных систем. В настоящее время интенсификация технологических процессов приводит к большим плотностям потока энергии и высоким скоростям их изменения. Эти процессы сопровождаются преобразованием видов энергии, а иногда и изменениями фазового состояния конденсированных сред, что может привести к большим градиентам температуры.

Интенсивное динамическое воздействие вызывает раскручивание и переориентацию молекулярных цепей, происходит перераспределение молекулярных сегментов между упорядоченной и неупорядоченной частями полимера, а при экстремальных воздействиях это приводит к деструкции или к переходу полимера в газообразное состояние [1].

В настоящее время свойства, особенно металлов и ионных кристаллов, хорошо исследованы в экстремальных условиях, результаты которых служат основой для построения полуэмпирических уравнений состояния конкретных веществ. Менее изучены конструкционные полимерные материалы, которые представляют собой важный класс веществ, обладающих уникальными физическими свойствами сложными фазовыми диаграммами. Эти вещества, как и металлы, используются в различных конструкциях, подверженных воздействию интен-

сивных импульсных нагрузок.

Необходимо учитывать тот же факт, что, насколько бы не были идеальными технологические процессы и их автоматизация, в силу различных обстоятельств возможны небольшие отклонения при нарушении технологического процесса. Непрерывный контроль качества изготавливаемой продукции позволяет выявлять эти причины на начальном этапе и повлиять на них необходимым образом. Для повышения качества изделий необходимо совершенствовать технологии, их механизацию и автоматизацию. Эти основные качества позволят повысить общий уровень системы качества изготавливаемой продукции. Также к модернизациям технологии обработки материалов относится и внедрение в новые процессы с использованием нового сырья и топлива. Выделим основные направления для совершенствования технологических процессов.

Первое – типизация технологических процессов. Суть ее заключается в том, что одно и то же изделие можно получить с помощью различных технологических процессов [3]. Разные методы обработки позволяют применять именно необходимую типизацию, характерную для определенного технологического процесса. Многообразие технологических процессов сводится к одному рациональному типу и внедряется в изготовление соответствующей детали. Для проведения типизации изделия, которые необходимо изготовить, разбиваются на классы и задачи, которые необходимо решить при изготовлении. На втором этапе типизации разрабатывается типовая технология изготовления. Если у изделия одинаковые технологические признаки, то для них проектируется один технологический процесс. Для крупных технологических процессов производится классификация изделий, которую позже объединяют в классы. Следующей основной составляющей обработки материалов в технологическом процессе является характеристика орудий труда. Сюда относятся мощности рабочих машин, трудовые показатели персонала предприятия [2]. К производственному показателю процесса относятся производительность оборудования цеха и другие коэффициенты.

Совершенствование технологических процессов базируется на органическом сочетании последних достижений в различных областях науки, техники, технологии, информатики, материаловедения и т.д. Исследование этих до-

стижений обеспечит быстрое получение нового продукта с принципиально иным уровнем функциональных, эстетических и экологических свойств, гарантирующих ему высокую конкурентоспособность на рынке. В рыночных условиях гибкая реакция производства на быстро изменяющиеся требования уже не обеспечивается только лишь повышением производительности или достижением более низкой стоимости продукции, выпускаемой в большинстве случаев малыми партиями [1]. На передний план выходит фактор времени разработки, освоения производства и выхода на рынок нового изделия.

Рост промышленности и народного хозяйства, а также темпы перевооружения их новой техникой в значительной мере зависят от уровня развития машиностроения. Технический прогресс в машиностроении характеризуется совершенствованием технологии изготовления машин, уровнем их конструктивных решений и надежности в последующей эксплуатации. В настоящее время важно качественно, дешево, в заданные сроки и с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив современную высокопроизводительную технику, оборудование, инструменты, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производства. Разработка технологического процесса изготовления машины не должна сводиться к формальному установлению последовательности обработки поверхностей деталей, выбору оборудования и режимов. Она требует творческого подхода для обеспечения согласованности всех этапов построения машины и достижения требуемого качества с наименьшими затратами.

Использование высокопрочных титановых сплавов закономерно из-за необходимости произвести детали и узлы, способные удовлетворять требованиям. Титан и соответствующие сплавы служат материалами для предназначенных к свариванию конструкций, используются при производстве штамповкой узлов и деталей, принимающих высокие нагрузки [3].

При проектировании технологических процессов изготовления деталей машин необходимо учитывать основные направления в современной технологии машиностроения.

1. Приближение заготовок по форме, размерам и качеству поверхностей к готовым деталям, что дает возможность сократить расход

материала, значительно снизить трудоемкость обработки деталей на металлорежущих станках, а также уменьшить затраты на режущие инструменты, электроэнергию и прочее [4].

2. Повышение производительности труда путем применения станков с числовым программным управлением, более совершенных методов обработки, новых марок материалов режущих инструментов.

3. Концентрация нескольких различных операций на одном станке для одновременной или последовательной обработки большим количеством инструментов с высокими режимами резания.

4. Развитие упрочняющей технологии, повышение прочностных и эксплуатационных свойств деталей путем упрочнения поверхностного слоя механическим, термическим, термомеханическим, химикотермическим способами.

Применение прогрессивных высокопроизводительных методов обработки, обеспечивающих высокую точность и качество поверхностей деталей машины, методов упрочнения рабочих поверхностей, повышающих ресурс работы детали и машины в целом, эффективное использование станков с числовым программным управлением – все это направлено на решение главных задач: повышение эффективности производства и качества продукции.

Особенностями модернизации технологического процесса можно считать следующие аспекты.

1. Замена метода получения заготовки с проката на поковку, полученную методом штамповки на горячекатаных штамповочных прессах, что позволило повысить коэффициент использования материала до 0,7, по сравнению с изготовлением данной детали из проката ко-

эффициент использования материала – 0,1. Данный способ получения заготовки позволяет снизить расходы на материал, припуски на обработку, массу отходов и трудоемкость механической обработки [3].

2. Объединение токарно-винторезной черновой и чистовой операций в одну и замена токарно-винторезного станка на токарный станок с числовым программным управлением позволили сократить основное и вспомогательное время на обработку заготовки, количество оборудования и трудовые ресурсы. Уменьшилось количество установок, что, в свою очередь, повысило точность изготовления детали.

3. Объединение вертикально-фрезерной и радиально-сверлильной операций в одну и замена универсальных станков на вертикальный фрезерный центр с числовым программным управлением позволили сократить время на обработку детали, количество оборудования и трудовые ресурсы. Весь цикл обработки происходит полностью в автоматическом режиме.

4. Применение станков с числовым программным управлением позволило:

- повысить точность изготовления детали;
- исключить использование разметочной операции и кондукторов;
- уменьшить количество установок;
- снизить потребность в высококвалифицированных рабочих;
- применить более простую технологическую оснастку;
- снизить продолжительность цикла изготовления детали;
- автоматизировать цикл изготовления детали;
- применить многостаночное обслуживание.

Список литературы

1. Цечоева, А.Х. Процесс разрушения некоторых полимерных конструкционных материалов при динамическом нагружении / А.Х. Цечоева. – М., 2019.
2. Цечоева, А.Х. Трение и износ в машинах / А.Х. Цечоева // В сборнике: Вузовское образование и наука. Материалы региональной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ. – Магас : Ингушский государственный университет, 2006.
3. Цечоева, А.Х. Обзор труднообрабатываемых металлов – высокопрочных сплавов / А.Х. Цечоева, М.Ш. Гатиев, Д.Б. Антошкиева // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 2(116). – С. 24–28.
4. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбацевич. В.А. Шкред. – М. : Альянс, 2018.

References

1. Tsechoyeva, A.KH. Protsess razrusheniya nekotorykh polimernykh konstruktsionnykh materialov pri dinamicheskom nagruzhении / A.KH. Tsechoyeva. – M., 2019.
2. Tsechoyeva, A.KH. Treniye i iznos v mashinakh / A.KH. Tsechoyeva // V sbornike: Vuzovskoye obrazovaniye i nauka. Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF. – Magas : Ingushskiy gosudarstvennyy universitet, 2006.
3. Tsechoyeva, A.KH. Obzor trudnoobrabatyvayemykh metallov – vysokoprochnykh splavov / A.KH. Tsechoyeva, M.SH. Gatiyev, D.B. Antoshkiyeva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2021. – № 2(116). – S. 24–28.
4. Gorbatshevich, A.F. Kursovoye proyektirovaniye po tekhnologii mashinostroyeniya: Uchebnoye posobiye dlya vuzov / A.F. Gorbatshevich. V.A. Shkred. – M. : Al'yans, 2018.

© А.Х. Цечоева, 2025

УДК 681.5

Э.М. БАШИРОВА, В.О. ДРАЦКИЙ, А.И. МУРТАЗИНА

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Ключевые слова: бесконтактный контроль; диагностика металлических конструкций; интегральные параметры оценки; микроструктура металла; напряженно-деформированное состояние; нейронные сети; спектральный анализ; статическое и циклическое нагружение; электромагнитно-акустический метод.

Аннотация. Целью статьи является разработка метода диагностики напряженно-деформированного состояния (НДС) металлических конструкций на основе анализа электромагнитно-акустических (ЭМА) сигналов. Задачи включали эксперименты по статическому и циклическому нагружению образцов сталей с использованием электромагнитно-акустического преобразователя (ЭМАП), анализ изменений микроструктуры металла и их связи с параметрами ЭМА-сигналов, разработку интегральных параметров оценки состояния металла и предложение применения нейронных сетей для повышения точности диагностики. Гипотеза исследования предполагала, что изменения в НДС и повреждения влияют на частотные характеристики ЭМА-сигналов, что позволяет использовать их для оценки состояния материала. Методы включали эксперименты с ЭМАП, спектральный анализ, изучение микроструктуры и разработку нейронных сетей. В результате установлена корреляция между изменениями структуры металла и параметрами ЭМА-сигналов, разработан метод диагностики, предложено использование нейронных сетей и подтверждена эффективность

метода для бесконтактного контроля состояния конструкций.

Разрушение металлических конструкций остается одной из наиболее актуальных проблем в строительстве и промышленности, приводящей к значительным экономическим потерям и угрозам безопасности. По данным статистики, около 20 % аварий зданий и сооружений связаны с разрушением металлических элементов, что подчеркивает необходимость разработки эффективных методов диагностики их состояния. Особую сложность представляет контроль состояния металла в условиях эксплуатации, где традиционные методы неразрушающего контроля часто оказываются недостаточно чувствительными для выявления микро- и субмикронных дефектов, которые зарождаются в зонах концентрации механических напряжений [1].

В настоящее время для оценки напряженно-деформированного состояния металлов широко используются методы, основанные на ультразвуковом, магнитном и вихретоковом контроле. Однако эти методы имеют ограниченную чувствительность и не всегда позволяют выявлять ранние стадии повреждений, что снижает их эффективность в предотвращении аварийных ситуаций. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых методов, способных с высокой точностью диагностировать НДС и поврежденность структуры металла, особенно в условиях переменных нагрузок [2].



Рис. 1. Электромагнитно-акустический преобразователь

Одним из перспективных направлений является использование электромагнитно-акустического преобразования, которое позволяет регистрировать изменения механических, акустических и электрофизических свойств металла без необходимости прямого контакта с его поверхностью. Однако существующие ЭМА-методы не в полной мере используют потенциал данного подхода и имеют недостаточную чувствительность для выявления ранних стадий повреждений [3].

Целью данной статьи является разработка нового метода диагностики напряженно-деформированного состояния металлических конструкций на основе анализа ЭМА-сигналов, позволяющего оценивать состояние металла в условиях статических и циклических нагрузок. В рамках исследования проведены эксперименты по статическому нагружению стандартных образцов металла, а также испытания на циклическое нагружение для сравнения полученных данных и разработки интегральных параметров оценки состояния металла.

Для разработки метода диагностики напряженно-деформированного состояния металлических конструкций был выбран подход, основанный на анализе ЭМА-сигналов, регистрируемых при взаимодействии электромагнитно-акустического преобразователя с объектом контроля. В качестве объектов ис-

следования использовались стандартные образцы из сталей, широко применяемых в строительных конструкциях: СтЗсп, 09Г2С и 12Х18Н10Т.

Эксперименты проводились в два этапа: на первом этапе осуществлялось статическое нагружение образцов с регистрацией диаграмм растяжения и изменений микроструктуры в реперных точках. На втором этапе были проведены испытания на циклическое нагружение для изучения влияния переменных нагрузок на состояние металла [4].

Для генерации и регистрации ЭМА-сигналов использовался электромагнитно-акустический преобразователь, состоящий из постоянного магнита и катушки индуктивности. Сигналы регистрировались с помощью высокоточного измерительного оборудования, а их обработка осуществлялась с использованием быстрого преобразования Фурье для получения амплитудно-фазовых спектров гармонических составляющих.

В результате статических испытаний были получены диаграммы растяжения, отражающие зависимость напряжения от деформации для различных образцов. Совмещение этих диаграмм с фотографиями микроструктуры позволило выявить корреляцию между изменениями в структуре металла и параметрами ЭМА-сигналов.

Спектральный анализ ЭМА-сигналов показал, что изменения в напряженно-деформированном состоянии металла и накопление повреждений приводят к значительным изменениям в частотных характеристиках сигнала. Это позволяет использовать частотные модели в качестве интегрального параметра для оценки состояния металла.

Для повышения точности и упрощения процесса диагностики предложено использование нейронных сетей для анализа параметров частотных моделей. Обучение нейронных сетей будет проводиться на основе данных, полученных в ходе статических испытаний, что позволит создать модель, способную прогнозировать состояние металла после циклического нагружения.

Проведенные исследования подтвердили эффективность предложенного метода диагностики напряженно-деформированного состояния металлических конструкций на основе

анализа ЭМА-сигналов. Установлено, что изменения в структуре металла и его свойствах отражаются в параметрах частотных моделей, что позволяет использовать их в качестве интегрального параметра для оценки состояния металла.

Использование нейронных сетей для анализа частотных моделей значительно упрощает процесс диагностики и повышает его достоверность. Это открывает новые возможности для бесконтактного контроля состояния металлических конструкций, что особенно актуально для строительства и промышленности.

В дальнейшем планируется расширение базы данных для обучения нейронных сетей, а также проведение дополнительных экспериментов с различными типами сталей и условиями нагружения. Это позволит повысить точность метода и адаптировать его для использования в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Баширов, М.Г. Разработка метода оценки ресурса безопасной эксплуатации технологических трубопроводов на основе электромагнитно-акустического эффекта: монография / М.Г. Баширов, И.Г. Хуснутдинова. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2020. – 177 с.
2. Баширов, М.Г. Обеспечение безопасности эксплуатации и оценка ресурса оборудования для переработки нефти электромагнитными методами диагностики: автореф. ... д-ра техн. наук : 05.26.03 / М.Г. Баширов. – Уфа : УГНТУ, 2002. – 364 с.
3. Баширов, М.Г. Актуальность и перспективы развития электромагнитно-акустического метода диагностики металлических конструктивных элементов энергетического и технологического оборудования / М.Г. Баширов, И.Г. Хуснутдинова, Д.Р. Усманов, А.А. Баймурзина // Наука и образование в жизни современного общества : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. : в 12 ч. – Тамбов : ООО «Консалтинговая компания Юком». – 2015. – Ч. 10. – С. 28–30.
4. Хуснутдинова, И.Г. Анализ аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли при возникновении дефектов в металлических элементах оболочковых конструкций / И.Г. Хуснутдинова, М.Г. Баширов, И.К. Бакиров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – Вып. 2. – С. 155–164.

References

1. Bashirov, M.G. Razrabotka metoda otsenki resursa bezopasnoy ekspluatatsii tekhnologicheskikh truboprovodov na osnove elektromagnitno-akusticheskogo effekta: monografiya / M.G. Bashirov, I.G. Khusnutdinova. – Ufa : Izd-vo UGNTU, 2020. – 177 s.
2. Bashirov, M.G. Obespecheniye bezopasnosti ekspluatatsii i otsenka resursa oborudovaniya dlya pererabotki nefiti elektromagnitnymi metodami diagnostiki: avtoref. ... d-ra tekhn. nauk : 05.26.03 / M.G. Bashirov. – Ufa : UGNTU, 2002. – 364 s.
3. Bashirov, M.G. Aktual'nost' i perspektivy razvitiya elektromagnitno-akusticheskogo metoda diagnostiki metallicheskih konstruktivnykh elementov energeticheskogo i tekhnologicheskogo oborudovaniya / M.G. Bashirov, I.G. Khusnutdinova, D.R. Usmanov, A.A. Baymurzina // Nauka i obrazovaniye v zhizni sovremennogo obshchestva : sb. nauch. tr. po mater. Mezhdunar. nauch.-

prakt. konf. : v 12 ch. – Tambov : ООО «Konsaltingovaya kompaniya Yukom». – 2015. – ЧН. 10. – S. 28–30.

4. Khusnutdinova, I.G. Analiz avariynykh situatsiy v neftegazovoy otrasli pri vozniknovenii defektov v metallicheskih elementakh obolochkovykh konstruktsiy / I.G. Khusnutdinova, M.G. Bashirov, I.K. Bakirov // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov. – 2017. – Vyp. 2. – S. 155–164.

© Э.М. Баширова, В.О. Драцкий, А.И. Муртазина, 2025

УДК 621.86+658.562.3

А.Ю. ГАНШКЕВИЧ, В.В. РОЗОВ, О.А. ЧЕРНЯК

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва

ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА

Ключевые слова: мониторинг; остаточный ресурс; система технической эксплуатации; статистический анализ; характеристическое число.

Аннотация. Цель статьи – предложить новый подход к мониторингу и прогнозированию технического состояния перегрузочного оборудования на основе анализа эксплуатационных данных. Задачи исследования включают: 1) разработку методики анализа технического состояния кранов на основе данных мониторинга; 2) обоснование применения характеристического числа и вибродиагностики для прогнозирования отказов. Гипотеза исследования заключается в том, что в качестве меры остаточного ресурса или наработки на отказ целесообразно использовать значение характеристического числа. Мониторинг в сравнении с периодическим диагностированием позволяет не только предсказывать отказы, но и выявлять причины их возникновения. В работе применены методы статистического анализа, анализ нормативной документации, исследование кейсов с производства. В результате предложена концепция интерактивного мониторинга процессов.

В данной работе авторы предлагают методику, состоящую из следующих последовательно связанных компонентов. Этапы методики анализа состояния системы технической эксплуатации представлены на рис. 1.

Прогнозирование изменения технического состояния оборудования осуществляется на основе эксплуатационных данных. Анализ предоставленных авторам эксплуатационных данных показал, что на предприятиях не уделяется должного внимания качеству собираемых статистических данных. Необходимость

фильтрации и классификации данных значительно усложняет работу аналитика, увеличивает ее продолжительность и снижает точность. Грамматические ошибки, лишние или дублирующиеся пунктуационные знаки, различные названия одних и тех же событий или одного и того же оборудования – далеко не полный перечень дефектов статистического материала. Еще одной проблемой являются фактические ошибки в статистическом материале – сознательные или случайные. Все это снижает степень достоверности полученных результатов. Выход из сложившейся ситуации авторы видят во внедрении методов автоматизированного или полностью автоматического сбора эксплуатационной информации.

При интерпретации данных существенной проблемой является выбор единиц измерения наработки.

Учет наработки крана на отказ в часах не отражает фактического времени непосредственной работы машины. И даже переход к машиночасам не позволяет оценить интенсивность эксплуатации оборудования в промежутках между отказами.

Использование коэффициентов готовности и технического использования позволяет получить оценку состояния оборудования в течение заданного времени. Однако эти показатели не дают информации о характере и режиме работы крана, а значит, не позволяют в полной мере оценить факторы, влияющие на наступление отказа [1].

Традиционно режим работы крана указывается в паспорте оборудования или в справке о характере работы, где приводятся усредненные показатели нагрузки, числа рабочих циклов и условий эксплуатации. Однако такой подход не учитывает реальную эксплуатационную динамику, а значит, не всегда отражает фактическую нагрузку на конструкцию и механизмы.



Рис. 1. Этапы методики анализа состояния системы технической эксплуатации

Более точным и объективным методом является расчет режима работы на основе данных регистратора параметров. Используя данные о фактическом числе рабочих циклов, проценте использования номинальной грузоподъемности, реальных динамических нагрузках, изменениях характеристического числа, можно не только уточнить фактический режим работы крана, но и определить, насколько интенсивно он эксплуатировался по сравнению с паспортными характеристиками. Это открывает возможности для более точного прогнозирования остаточного ресурса оборудования, выявления аномальных режимов эксплуатации и разработки персонализированной стратегии технического обслуживания.

Таким образом, анализ данных с регистратора параметров позволяет не просто оценить текущую наработку крана, но и выявить условия его работы, что особенно важно для перехода к предиктивным методам диагностирования и прогнозирования отказов.

В ГОСТ Р 53564-2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга» [2] указываются требования для построения системы мониторинга (СМ): следует использовать минимально необходимое число датчиков процессов, сопровождающих работу оборудования и технологической системы в целом, которое способно обеспечить наблюдаемость технического состояния, и минимально необходимое число процедур обработки выходных сигналов датчиков (обнаружения, фильтрации, линеаризации, коррекции амплитудно-фазовых характеристик и т.д.).

Система мониторинга согласно ГОСТ Р 53564-2009 [2] должна обеспечивать получение информации о состоянии оборудования (объекта мониторинга) в необходимом количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости его технического состояния.

Следовательно, наблюдаемость характери-

зует текущее техническое состояние оборудования до наступления внезапного отказа/перехода в предельное состояние.

Задачей наблюдаемости являются сбор и интеграция данных, полученных из разнородных источников, таких как системные журналы, отчеты, регистраторы параметров (РП) с целью построения комплексного представления о функционировании оборудования, оценки текущего состояния оборудования посредством мониторинга, диагностики потенциальных аномалий и реализации корректирующих мер для оптимизации его работы.

В руководствах по эксплуатации РП нет единого подхода к считыванию данных, их расшифровке и интервалам считывания, из-за этого довольно трудно оценить точность регистрируемых параметров. Это приводит к ошибочным расчетам эксплуатационных показателей и, как следствие, к возникновению внезапных отказов и неплановых простоев. Кроме данных, приведенных выше, РП фиксирует также суммарную массу поднятых грузов и количество срабатываний ограничителей.

Анализ данных, полученных с РП, может быть использован для оценки производительности крана и крановщика; планирования технического обслуживания и ремонта (ТОиР); оценки скорости деградиационных процессов крана; распределения грузопотоков между несколькими кранами; контроля превышения допустимых нагрузок и учета нарушений.

В оперативную информационную систему крана интегрируются все параметры, связанные с нагрузкой на кран, включая координаты груза относительно крана, состояние и функциональность захватных устройств, а также работоспособность концевых выключателей. Вся оперативная информация архивируется за определенный временной интервал и должна храниться в течение всего срока службы оборудования.

Используя данные, зарегистрированные в информационной карте РП работоспособных

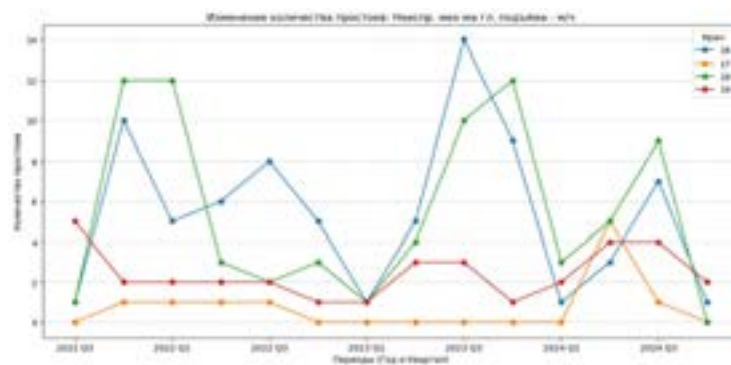


Рис. 2. Простои кранов типа «Неисправность механизма главного подъема – механическая часть»

кранов, авторами предлагается производить расчет времени выхода из строя каждого из работоспособных кранов (с заданной вероятностью) и оценивать скорость выработки характеристического числа.

В настоящее время нет определенных указаний, в какой момент времени необходимо считывать данные с РП. Согласно ГОСТ 33713-2015 «Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования» [3] эксплуатирующие организации должны организовать считывание данных регистратора параметров не реже сроков, указанных в руководстве по эксплуатации РП, и обработку (расшифровку) этих данных с оформлением протокола, выявлять нарушения правил эксплуатации кранов с внесением результата в паспорт крана в раздел «Запись результатов технического освидетельствования». При отсутствии в эксплуатационных документах регистраторов указаний о сроках считывания данных необходимо выполнять такие операции при каждом техническом освидетельствовании крана, но не реже одного раза в шесть месяцев.

Вместо этого подхода, когда данные анализируются во время технического освидетельствования, предлагается выводить информацию с регистратора после каждого вывода крана из работы. Это позволит учитывать динамику изменения эксплуатационных параметров, планировать техническое обслуживание и ремонт по индивидуальной стратегии, более точно определять причины отказов и простоя оборудования и на основе накопленных данных с заданной вероятностью предсказывать время до выхода из строя узлов крана.

В ГОСТ 33713-2015 «Краны грузоподъем-

ные. Регистраторы параметров работы. Общие требования» [3] дано определение нормативного характеристического числа – безразмерная величина, являющаяся мерой ресурса крана, на которую он рассчитан, и определяется по формуле (1):

$$N_H = K_P \cdot C_T = \sum_{n=1}^{n=C_T} \left(\frac{P_n}{P_{max}} \right)^3, \quad (1)$$

где K_P – нормативное значение коэффициента распределения нагрузок; C_T – проектное максимальное количество рабочих циклов; P_n – максимальное значение фактической нагрузки на грузозахватном органе крана в n -ом рабочем цикле; P_{max} – номинальная грузоподъемность.

Используя разность между нормативным и текущим значениями характеристического числа (ХЧ), оценивается остаточный ресурс машины в рабочих циклах. Текущее ХЧ, зарегистрированное за известный промежуток времени, сравнивается с нормативным ХЧ путем умножения коэффициента распределения нагрузок для соответствующего режима нагружения на проектное предельное число рабочих циклов крана.

Одной из основных задач предлагаемой авторами методики является корректировка работы службы технической эксплуатации, поэтому она должна включать в себя не только анализ и мониторинг технического состояния, но и мониторинг процессов. Мониторинг процессов также является комплексной задачей, решение которой начинается с общей (интегральной) оценки состояния процессов, с целью выявления аномалий в статистических данных, говоря-

Таблица 1. Количество простоев типа «отключение крана» для кранов поквартально

	2021 Q3	2021 Q4	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4
16	1	10	5	6	8	5	1	5	14	9	1	3	7	1
17	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	1	0
18	1	12	12	3	2	3	1	4	10	12	3	5	9	0
19	5	2	2	2	2	1	1	3	3	1	2	4	4	2

Примечание – буквой «Q» обозначается квартал

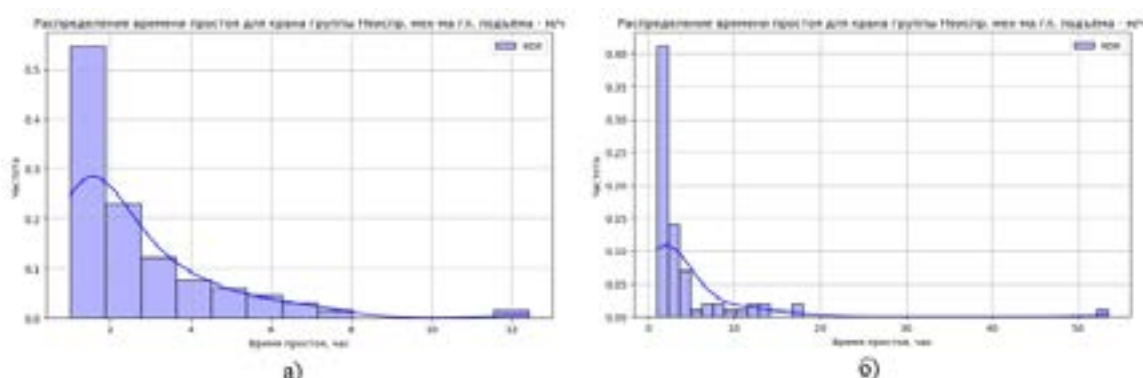


Рис. 3. Распределение времени простоя типа «Неисправность механизма главного подъема – механическая часть»: а) крана № 16; б) крана № 18

щих о наличии проблем при работе служб предприятия. В дальнейшем проблемные участки исследуются более подробно. Такой подход позволит избежать лишних затрат на организацию мониторинга и анализ его результатов.

Пример применения такого подхода представлен ниже. На графике, отражающем поквартальное количество простоев типа «Неисправность механизма главного подъема – механическая часть», прослеживается четкая закономерность: у кранов № 16 и № 18 количество простоев более чем в два раза превышает аналогичный показатель у кранов № 17 и № 19, работающих на одном пролете. Поквартальный график представлен на рис. 2.

Данные о количестве простоев представлены в табл. 1.

Данное расхождение требует детального исследования, так как все краны функционируют в схожих условиях и выполняют идентичные технологические операции. Поскольку значительную часть общего времени простоя составляет время выполнения ремонтных работ,

то анализ его распределения представляет особый интерес.

График распределения времени нахождения в состоянии простоя крана № 16 по причине типа «неисправность механизма главного подъема – механическая часть» представлен на рис. 3а. Аналогичный график для крана № 18 представлен на рис. 3б.

Несмотря на то, что оба этих крана мы классифицировали как проблемные, на гистограммах видно, что их распределения заметно отличаются: у крана № 16 время простоя сосредоточено в пределах от 1 до 8 часов, при незначительном количестве выбросов (12-ти часовой простой) и по форме распределение близко к распределению Вейбулла [5], тогда как у крана № 18 – от 1 до 15 часов с выбросами 18 и 53 часа, и форма его распределения – мультимодальная, что говорит нам о разных причинах долгого ремонта.

Для выяснения причин сложившейся ситуации строится дерево причинно-следственных связей. Модель дерева причинно-следственных



Рис. 4. Дерево причинно-следственных связей для процесса выкрашивания подшипника качения выносной опоры барабана механизма главного подъема

связей изложена в ГОСТ Р ИСО 13379-1-2015 «Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство» [4]. Так, в примере с производства рабочая бригада механиков зафиксировала повышенный шум и вибрации на выносной опоре барабана механизма главного подъема. Авторы построили дерево причинно-следственных связей и выдвинули гипотезу, что необходимо проконтролировать правильность установки подшипника и соответствие размеров вала и подшипника. Проверка гипотезы экспертной группой подтвердила, что первопричиной сложившейся ситуации являлась неправильная установка подшипника. Дерево причинно-следственных связей для процесса выкрашивания подшипника качения выносной опоры барабана механизма главного подъема представлено на рис. 4.

Следующим этапом после определения групп критически значимых отклонений целесообразно расширить систему мониторинга, добавив дополнительные датчики в уязвимые узлы подвижного состава (ПС). Одним из таких решений является оснащение ключевых узлов вибродатчиками, которые позволяют фиксировать изменения технического состояния в режиме реального времени.

Для каждого выявленного случая, в котором прослеживаются неблагоприятные закономерности, авторами предлагается разрабатывать индивидуальную технологию мониторинга. Это означает, что для различных типов от-

казов или аномалий подбираются оптимальные датчики, методы анализа данных и алгоритмы обработки информации. Такой подход позволяет не просто фиксировать факт возникновения отказа, но и заранее предсказывать его на основе характерных изменений параметров. Например:

1) для контроля состояния подшипников и редукторов используются вибродатчики, фиксирующие изменение амплитуды колебаний;

2) для мониторинга металлоконструкции крана применяются датчики деформации, отслеживающие появление усталостных повреждений;

3) для оценки динамических нагрузок на грузовой барабан могут использоваться датчики усилий и ускорения.

Интеграция различных технологий мониторинга приводит к более глобальному эффекту: в совокупности с установленным оборудованием они образуют систему мониторинга не только технического состояния оборудования, но и всего технологического процесса. Это позволит перейти на новый уровень управления эксплуатацией, в перспективе обеспечивая:

- оптимизацию загрузки оборудования, предотвращая перегрузки и преждевременный износ;

- повышение безопасности за счет раннего обнаружения критических изменений;

- снижение затрат на техническое обслуживание благодаря точному прогнозированию ремонтов.

Таким образом, развитие интеллектуальных технологий мониторинга делает возможным не просто контроль работоспособности кранов, но и проактивное управление их эксплуатацией, снижая вероятность внеплановых простоев и продлевая срок службы оборудования.

Список литературы

1. Ганшкевич, А.Ю. Комплексный подход к оптимизации процессов технической эксплуатации подъемных сооружений с применением дистанционных технологий / А.Ю. Ганшкевич, В.В. Розов, Ф.О. Фадеев // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 2(164). – С. 59–65.
2. ГОСТ Р 53564-2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга».
3. ГОСТ 33713-2015 «Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования».
4. ГОСТ Р ИСО 13379-1 – 2015 «Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство».
5. Кравченко, Е.Г. Надежность технических систем в машиностроении: учеб. пособие / Е.Г. Кравченко. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 126 с.

References

1. Ganshkevich, A.YU. Kompleksnyy podkhod k optimizatsii protsessov tekhnicheskoy ekspluatatsii pod"yemnykh sooruzheniy s primeneniym distantsionnykh tekhnologiy / A.YU. Ganshkevich, V.V. Rozov, F.O. Fadeyev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 2(164). – S. 59–65.
2. GOST R 53564-2009 «Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Monitoring sostoyaniya oborudovaniya opasnykh proizvodstv. Trebovaniya k sistemam monitoringa».
3. GOST 33713-2015 «Krany gruzopod"yemnyye. Registratory parametrov raboty. Obshchiye trebovaniya».
4. GOST R ISO 13379-1 – 2015 «Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Metody interpretatsii dannykh i diagnostirovaniya. Chast' 1. Obshcheye rukovodstvo».
5. Kravchenko, Ye.G. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem v mashinostroyenii: ucheb. posobiye / Ye.G. Kravchenko. – Komsomol'sk-na-Amure : FGBOU VPO «KnAGTU», 2014. – 126 s.

© А.Ю. Ганшкевич, В.В. Розов, О.А. Черняк, 2025

УДК 66-932.2

Д.А. ЗАБОЛОТНЫЙ, К.А. ХУСАИНОВА, В.В. ЗАКУРДАЕВ, А.С. ЩЕРБАКОВ
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА УЗЛА СЖАТИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: автоматизация; надежность; регулирующий орган; сжатие атмосферного воздуха; система безопасности; техносферная безопасность.

Аннотация. Актуальность работы связана с обеспечением техносферной безопасности при компримировании атмосферного воздуха в нефтехимической промышленности. Несмотря на отсутствие прямых экологических рисков, процесс сопряжен с техногенными угрозами, такими как высокое давление и утечки. Применение автоматизированных систем мониторинга позволяет оперативно выявлять отклонения и предотвращать аварии, повышая безопасность.

Внедрение каскадной системы регулирования улучшает устойчивость к переменным нагрузкам, а установка регулирующих клапанов и датчиков обеспечивает быструю реакцию на изменения параметров. Использование современных программных средств повышает техносферную безопасность, оптимизирует процесс и минимизирует риски для персонала и оборудования, обеспечивая стабильную работу производственного процесса.

Сжатие атмосферного воздуха играет ключевую роль в нефтехимической промышленности, обеспечивая работу пневматических систем и технологического оборудования. В условиях повышения требований к энергоэффективности и техносферной безопасности растет интерес к современным компрессорным технологиям, способствующим оптимизации производствен-

ных процессов [1].

На удаленных промышленных объектах воздушные компрессоры ценятся за свою автономность и надежность. Контроль со стороны Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору России (Ростехнадзора) и их эксплуатация сопряжены с рисками для промышленной безопасности сотрудников и производства. Для снижения этих рисков внедряются автоматизированная система управления каскадного регулирования, системы диагностики и предиктивное обслуживание [5].

Нарушения техносферной безопасности могут привести к серьезным авариям, включая взрывы и повреждения оборудования. Контроль со стороны Ростехнадзора, а также использование интеллектуальных систем мониторинга помогают выявлять потенциальные угрозы и предотвращать инциденты. Современные технологии сжатия воздуха не только повышают надежность производства, но и способствуют снижению энергозатрат и минимизации воздействия на окружающую среду [4; 7].

Переход от одноконтурной системы регулирования к каскадной в процессах сжатия атмосферного воздуха приносит значительные преимущества. Каскадное управление обеспечивает более точное поддержание рабочих параметров, снижает нагрузку на компрессоры и уменьшает износ оборудования. Внедрение такой системы в сочетании с контрольно-измерительными приборами и автоматикой (КИПиА) обеспечивает стабильную работу компрессорных станций, сокращает эксплуатационные расходы и повышает уровень безопасности на

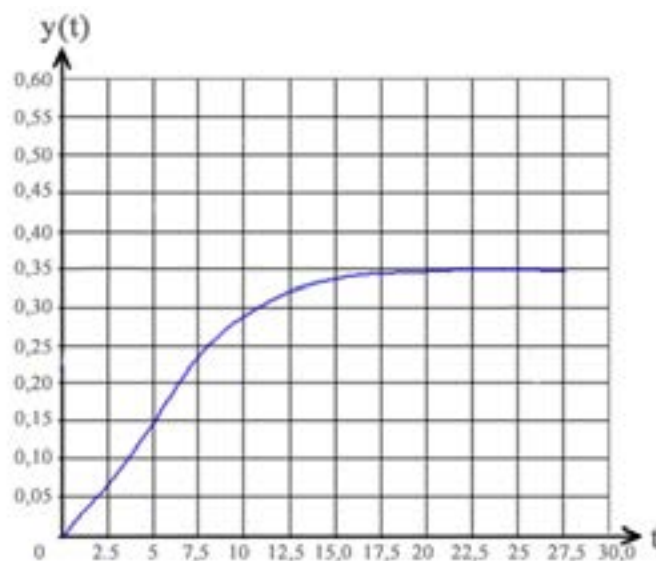


Рис. 1. Расчетная кривая разгона

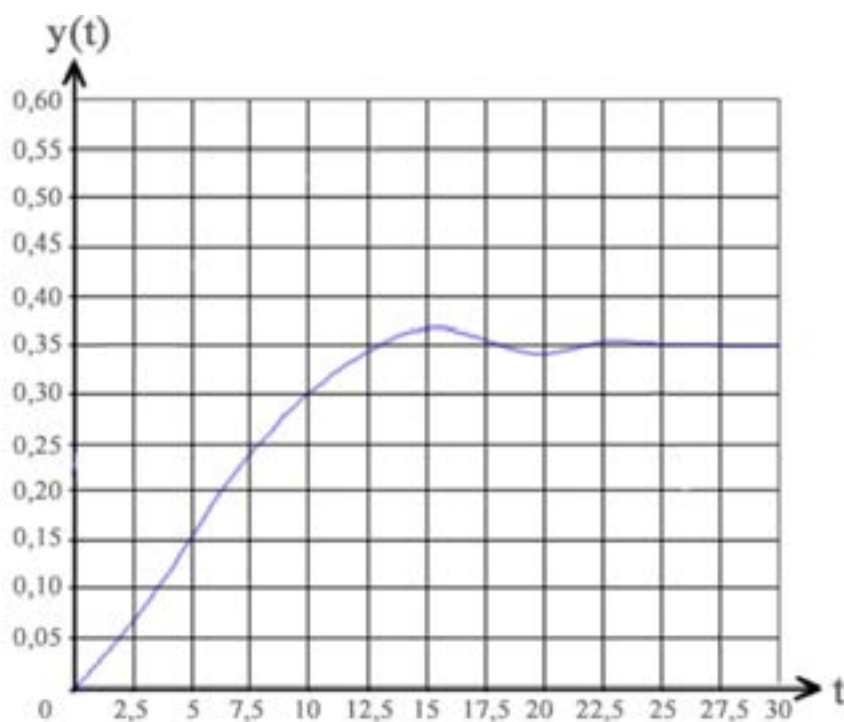


Рис. 2. Переходная кривая для ПИ-регулятора

производстве [2; 6].

Для модернизации установки компримирования атмосферного воздуха предлагается внедрение системы ПИД-регулирования, обеспечивающей высокоточное управление ключевыми параметрами технологического процесса.

Применение ПИД-регулятора позволяет минимизировать динамические колебания и, таким образом, способствует стабилизации работы оборудования. Реализация каскадной схемы регулирования с разделением на внутренний и выходной контуры обеспечивает независимую

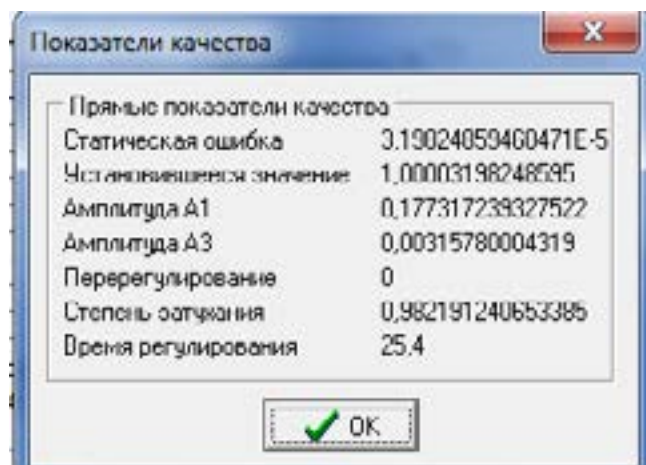


Рис. 3. Показатели качества регулирования для ПИ-регулятора

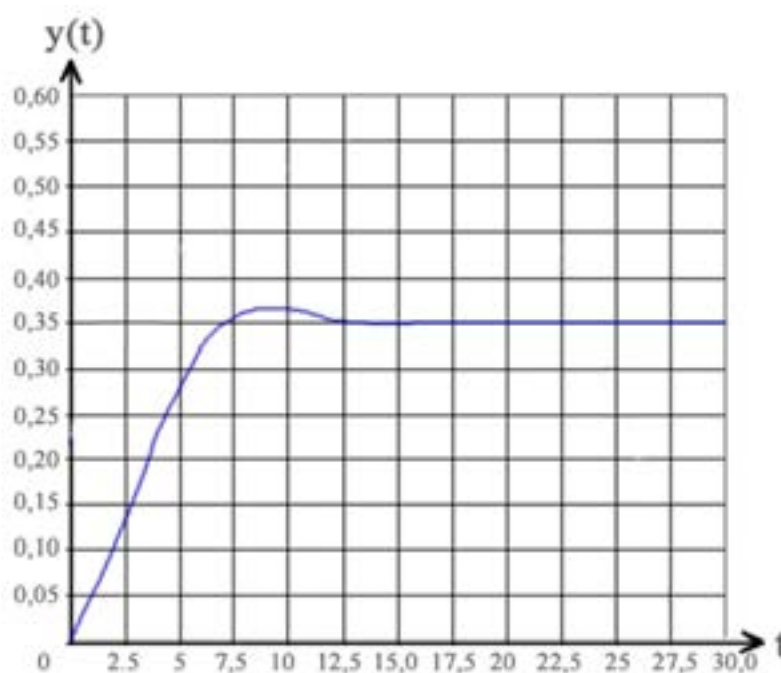


Рис. 4. Переходная кривая по заданию для ПИД-регулятора

настройку параметров в различных звеньях системы, что приводит к повышению общей устойчивости и эффективности процесса. Такой подход способствует повышению надежности работы установки и улучшению эксплуатационных характеристик технологического оборудования.

Рассмотрим кривую разгона, построенную на основе входных данных установки центрального компрессора узла сжатия атмосферно-

го воздуха.

Выполним расчет оптимальных параметров K_0 и K_1 ПИ-регулятора по формулам:

$$K_0 = \frac{1}{2 \cdot \tau \cdot K_{op}}$$

$$K_1 = \frac{T_{up}}{2 \cdot \tau \cdot K_{op}}$$

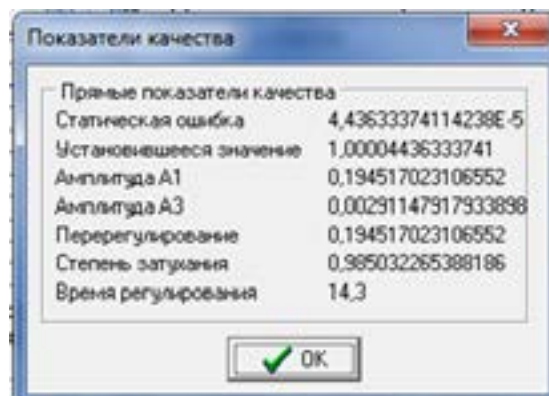


Рис. 5. Показатели качества регулирования для ПИД-регулятора

Таблица 1. Сравнение прямых показателей качества одноконтурной системы с ПИ-регулятором и каскадной системой автоматического регулирования (АСР) с ПИД-регулятором

Параметры	Одноконтурная АСР с ПИ-регулятором	Каскадная АСР с ПИД-регулятором
Время регулирования, сек	25,4	14,3
Статистическая ошибка, %	0,003	0,004
Степень затухания	0,982	0,985
Перерегулирование	0	0,194

Построим переходную кривую для ПИ-регулятора (рис. 2).

Произведем расчет параметра K_2 для ПИД-регулятора, используя параметры K_0 и K_1 :

$$K_2 = \alpha \cdot \frac{K_1^2}{K_0},$$

где α – коэффициент воздействия по производной (выбирается от 0,15 до 0,6).

Построим переходную кривую по заданию для ПИД-регулятора (рис. 4).

Сравним показатели качества систем регулирования с ПИ-регулятором и ПИД-регулятором в табл. 1.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что система регулирования с ПИД-регулятором, несмотря на незначительный недостаток статистической ошибки в 0,001 % и возникшее перерегулирование, работает с большим быстродействием, имеет лучшие показатели качества, нежели система с ПИ-

регулятором.

Анализируя переходный процесс, можно сделать вывод о том, что одноконтурная система регулирования работает устойчиво, даже если объект регулирования обладает неблагоприятными динамическими характеристиками и работает в условиях переменных нагрузок.

Модернизация системы компримирования атмосферного воздуха в нефтехимической промышленности направлена на повышение энергоэффективности, надежности оборудования и безопасности. Внедрение каскадной системы регулирования с ПИД-регулятором сократило время регулирования и улучшило показатели качества управления, несмотря на незначительное перерегулирование, что сделало систему более эффективной по сравнению с одноконтурной.

Модернизация управления с использованием полевых датчиков позволяет экономить энергоресурсы при производстве сжатого воздуха для других производств. Внедрение автоматизированной системы управления техно-

логическим процессом (АСУ ТП) позволяет применять более сложные алгоритмы регулирования, улучшая управление и оптимизируя нагрузку на турбину компрессора. Использование современных датчиков давления и температуры улучшило регулирование расхода пара, что повысило эффективность работы оборудования.

Автоматизация контроля и предиктивное

обслуживание уменьшают риски перегрева и шумового загрязнения, повышая техносферную безопасность. Современные технологии сжатия воздуха не только повышают надежность и снижают затраты, но и минимизируют воздействие на окружающую среду, что соответствует требованиям устойчивого развития в нефтехимической промышленности.

Список литературы

1. Рамзи, Р.С. Компрессоры и турбокомпрессоры / Р.С. Рамзи. – М. : Машиностроение, 2011. – 480 с.
2. Гинзбург, М.И. Автоматизация и управление технологическими процессами в нефтехимической промышленности / М.И. Гинзбург. – СПб : Невский университет, 2015. – 350 с.
3. Мухамедзянов, Р.А. Энергоэффективные технологии и оборудование в нефтехимической промышленности / Р.А. Мухамедзянов. – Казань : Казанский университет, 2016. – 312 с.
4. Рябов, С.А. Техносферная безопасность в нефтехимической промышленности / С.А. Рябов. – М. : Стройиздат, 2014. – 410 с.
5. Шамина, Л.В. Методика диагностики и мониторинга в промышленности / Л.В. Шамина. – М. : Изд-во МГТУ, 2017. – 270 с.
6. Курбатов, А.П. Современные технологии в нефтехимической промышленности / А.П. Курбатов. – СПб : Нефтегазиздат, 2018. – 295 с.
7. Руденко, А.П. Основы безопасности жизнедеятельности и охраны труда в нефтехимической промышленности / А.П. Руденко. – М. : Академия, 2013. – 350 с.
8. Любимов, А.Н. Модернизация центробежного компрессора углекислого газа высокого давления: технические сложности и пути их решения / А.Н. Любимов // Химическая Техника. – 2024. – С. 45–52.
9. Особенности моделирования газодинамических характеристик центробежных компрессоров турбодетандерных агрегатов / А.Ф. Рекстин, В.Б. Семеновский, К.В. Солдатова [и др.] // Компрессорная техника и пневматика. – 2018. – № 1. – С. 13–20.

References

1. Ramzi, R.S. Kompresory i turbokompresory / R.S. Ramzi. – M. : Mashinostroyeniye, 2011. – 480 s.
2. Ginzburg, M.I. Avtomatizatsiya i upravleniye tekhnologicheskimi protsessami v neftekhimicheskoy promyshlennosti / M.I. Ginzburg. – SPb : Nevskiy universitet, 2015. – 350 s.
3. Mukhamedzyanov, R.A. Energoeffektivnyye tekhnologii i oborudovaniye v neftekhimicheskoy promyshlennosti / R.A. Mukhamedzyanov. – Kazan' : Kazanskiy universitet, 2016. – 312 s.
4. Ryabov, S.A. Tekhnosfernaya bezopasnost' v neftekhimicheskoy promyshlennosti / S.A. Ryabov. – M. : Stroyizdat, 2014. – 410 s.
5. Shamina, L.V. Metodika diagnostiki i monitoringa v promyshlennosti / L.V. Shamina. – M. : Izd-vo MGTU, 2017. – 270 s.
6. Kurbatov, A.P. Sovremennyye tekhnologii v neftekhimicheskoy promyshlennosti / A.P. Kurbatov. – SPb : Neftegazizdat, 2018. – 295 s.
7. Rudenko, A.P. Osnovy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti i okhrany truda v neftekhimicheskoy promyshlennosti / A.P. Rudenko. – M. : Akademiya, 2013. – 350 s.
8. Lyubimov, A.N. Modernizatsiya tsentrobezhnogo kompressora uglekislogo gaza vysokogo davleniya: tekhnicheskiye slozhnosti i puti ikh resheniya / A.N. Lyubimov // Khimicheskaya Tekhnika. – 2024. – S. 45–52.

9. Osobennosti modelirovaniya gazodinamicheskikh kharakteristik tsentrobezhnykh kompressorov turbodetandernykh agregatov / A.F. Rekstin, V.B. Semenovskiy, K.V. Soldatova [i dr.] // Kompessornaya tekhnika i pnevmatika. – 2018. – № 1. – S. 13–20.

© Д.А. Заболотный, К.А. Хусаинова, В.В. Закурдаев, А.С. Щербаков, 2025

УДК 627.3+620.179

Ф.О. ФАДЕЕВ, А.Ю. ГАНШКЕВИЧ, Н.М. СТОЯНЦОВ

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Ключевые слова: вибрационная диагностика; подъемно-транспортные машины; фотограмметрия; цифровая трансформация.

Аннотация. Статья посвящена анализу методов оценки технического состояния объектов портовой инфраструктуры в контексте цифровой трансформации. Затрагиваются современные подходы к диагностике объектов портового хозяйства (подъемно-транспортных машин) методом вибрационной диагностики и фотограмметрии. Приведены результаты имитационного моделирования механизма с эксплуатационными повреждениями, повышающие качество диагностирования. Также представлены результаты практического применения фотограмметрии для оценки деформаций элементов стальных конструкций подъемных сооружений.

Порты и терминалы являются важнейшими двигателями экономического роста и развития. Они способствуют созданию рабочих мест, привлечению инвестиций и получению прибыли за счет тарифов, налогов и сборов. Эффективность и надежность этих объектов напрямую влияют на конкурентоспособность страны в международной торговле.

Портовая инфраструктура – это сложная техническая система, являющаяся совокупностью сооружений, оборудования и систем, обеспечивающих функционирование порта как ключевого элемента транспортной и логистической цепочки.

Нарушение в работе портовой инфраструктуры имеет серьезные последствия, затрагивающие экономику, логистику, безопасность, экологию и др.

1. Экономические последствия.

Рост затрат, к примеру, непредвиденный выход из строя подъемно-транспортных машин

(ПТМ) приводит к простоям судов, что влечет за собой задержку в поставках. Это критично для скоропортящихся товаров или сырья для промышленности. В связи с этим порты вынуждены искать альтернативные маршруты и оплачивать штрафы за срыв сроков поставки.

Потеря доходов: остановка работ по обслуживанию судов и перевалке грузов снижает прибыль порта за эти услуги.

Ущерб репутации: ненадежный порт не привлекает грузоперевозчиков, что приводит к снижению торгового оборота в долгосрочной перспективе.

2. Логистические риски.

Увеличение времени доставки – нарушение принципа «just in time». Многие отрасли зависят от точного соблюдения сроков поставок.

Избыточная нагрузка на транспортные сети: невозможность обслужить суда приводит к остановке работы портовой инфраструктуры.

Дополнительные расходы: логистические операторы вынуждены искать альтернативные пути, что увеличивает затраты.

Простой ПТМ, с точки зрения судовладельца, может привести к нарушению срока, в течение которого перевозчик предоставляет судно для погрузки и выгрузки груза (сталийного времени). В случае превышения сталийного времени назначается согласованная компенсация (демередж), подлежащая оплате в пользу судовладельца. При этом расходы оператора порта или терминала могут составлять значительные суммы. Так, например, согласно определению арбитражного суда г. Иваново от 3 августа 2021 г. по делу № А17-3784/2021 [6], время на демередже составляет 53 часа 31 минуту. Штраф за простой судна (демередж) составляет 668958 руб. 33 коп. Согласно материалам дела № А51-33797/2013 арбитражного суда г. Владивосток от 26 октября 2017 г. [7], задержка судна под погрузкой сверх нормы на 13 дней 19 ча-

сов повлекла за собой возникновение убытков в сумме 51 778,47 долл.

Компания «*Global Rigging and Transport*» косвенно подтверждает необходимость сокращения простоев ПТМ с точки зрения минимизации времени демонтажа ПТМ и установки новой машины, в течение которого порт находится без своего критически важного оборудования [8].

Причины отказов ПТМ в условиях порта могут быть разнообразными и зависят от специфики эксплуатации, конструкции машин и внешних факторов. Авторы считают необходимым выделить следующее.

1. Интенсивные нагрузки и износ. В портовых условиях подъемно-транспортные машины (например, краны, погрузчики, конвейеры) работают с большими грузами и в режиме высокой интенсивности. Это приводит к ускоренному износу деталей, таких как подшипники, тросы, зубчатые передачи и гидравлические элементы.

2. Агрессивная окружающая среда: порты расположены вблизи моря, где машины подвергаются воздействию влажности, соляного тумана и коррозии. Это особенно негативно сказывается на металлических узлах и электрических системах, вызывая их преждевременный выход из строя.

3. Нарушение условий эксплуатации: неправильное использование техники, превышение допустимых нагрузок, несоблюдение графика технического обслуживания или ошибки операторов могут привести к авариям и отказам.

4. Конструктивные и технологические дефекты: недочеты в проектировании или производстве (например недостаточная прочность материалов) могут проявляться в процессе работы, особенно под воздействием динамических знакопеременных нагрузок, характерных для порта.

5. Загрязнение рабочих жидкостей и механизмов: пыль, песок, грязь и другие абразивные частицы, которые попадают в гидравлические системы, трансмиссии и двигатели, вызывая износ и аварии.

6. Случайные перегрузки: непредвиденные ситуации, такие как падение груза, удары или резкие рывки, могут привести к внезапным поломкам (например, обрыву тросов или деформации металлоконструкции крана).

7. Старение оборудования: со временем

материалы теряют свои свойства из-за усталости металла, коррозии или накопления повреждений, что увеличивает вероятность отказов.

Поддержание и восстановление работоспособности ПТМ является одной из основных проблем, которую постоянно решают в морских портах. Эффективные методы решения данной задачи предлагают переход к цифровизации.

Цифровизация транспортной отрасли является одной из ключевых задач в Российской Федерации минимум на период до 2030 г. [5]. Цели стратегического направления в области цифровой трансформации включают в себя повышение качества транспортно-логистических услуг, обеспечение их безопасности и надежности.

Некоторые из задач, которые ставятся перед цифровой трансформацией:

- 1) цифровизация жизненного цикла инфраструктуры и транспортных средств;
- 2) цифровизация управления транспортным комплексом;
- 3) обеспечение безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры в транспортной отрасли;
- 4) повышение уровня технологического развития и декарбонизация транспортного комплекса.

Для решения задач Правительство РФ предполагает внедрять следующие технологии:

- 1) искусственный интеллект;
- 2) технологии сбора и обработки больших данных;
- 3) технологии систем распределенного реестра;
- 4) технологии виртуальной и дополненной реальности;
- 5) технологии пространственного анализа и моделирования;
- 6) технологии информационного моделирования;
- 7) производственные технологии в области управления производством;
- 8) технологии робототехники и сенсорики, в том числе в области сенсоров и обработки сенсорной информации, сенсоров и систем сбора и обработки информации для эффективного функционирования робототехнических систем, интеллектуальных систем управления робототехническими системами, систем автоматизации управления;
- 9) технология беспроводной связи в области защищенной телекоммуникации.

Одним из методов решения данных задач заявлено развитие инструментов мониторинга и предиктивного обслуживания. Для диагностики технического состояния ПТМ ведутся сбор и накопление эксплуатационных параметров.

Необходимо понимание того, какие параметры являются критическими и какие методы позволят наиболее точно и своевременно выявить проблемы. Этот процесс может включать статистические методы, экспертные оценки или автоматизированные алгоритмы.

Переход от сбора данных к диагностике – это движение от пассивного накопления информации к активному ее использованию для принятия решений. Важно, чтобы методы диагностики соответствовали специфике системы и обеспечивали баланс между точностью, стоимостью и скоростью реализации.

В настоящее время активно развиваются методы контроля и мониторинга технического состояния (ТС) объектов различного назначения с применением дистанционных технологий для наблюдения за состоянием инфраструктуры, операций и окружающей среды порта без необходимости физического присутствия на объекте. Такие системы позволяют собирать данные в реальном времени, повышать безопасность, оптимизировать управление и снижать эксплуатационные расходы.

Авторами статьи рассматривается разработка двух направлений методов технической диагностики ПТМ: вибрационная диагностика и фотограмметрия.

Вибрационная диагностика – метод безразборного диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, создаваемой работающим оборудованием, либо являющейся вторичной вибрацией, обусловленной структурой исследуемого объекта.

Преимущества вибрационной диагностики следующие.

1. Раннее обнаружение дефектов: вибрационная диагностика позволяет выявить неисправности на начальной стадии, что снижает риск внезапных поломок.

2. Неразрушающий контроль: метод не требует разборки оборудования, что экономит время и ресурсы.

3. Возможность дистанционного контроля: данные с датчиков централизованно собираются и передаются в удаленный центр обработки

данных.

Фундаментальной основой решения задач технической диагностики, в т.ч. вибрационной диагностики, является теория распознавания образов. Образ – это описание объекта или процесса, которое позволяет выделять его из окружающей среды и группировать с другими объектами или процессами для принятия необходимых решений. Для создания алгоритмов распознавания требуется создание диагностических моделей, устанавливающих связь между техническими состояниями системы и их реализацией в пространстве диагностических сигналов [1].

Такой моделью может являться имитационное моделирование вибрационного сигнала, а образом – диагностический признак дефекта. Авторами рассмотрены проблемы поиска диагностических признаков дефектов в сложных механизмах ПТМ с большим числом источников вибрации.

1. Для определенных дефектов, присутствие которых наиболее вероятно, требуется знание диагностических частот, которыми характеризуются эти дефекты, для эффективного применения фильтров и оконных функций.

2. Идентификация диагностических признаков при наложении сигналов от нескольких дефектов требует знать значения комбинационных частот.

3. При проверке гипотез о связи отдельных частотных пиков с конкретными дефектами необходимо иметь возможность детально исследовать вклад отдельных дефектов в общий спектр вибрации.

Для решения указанных проблем авторами была разработана технология имитационного моделирования механизма с эксплуатационными повреждениями, которая позволила получить более полное и детальное представление о составе вибрационного сигнала. Такая модель включает в себя:

- 1) представление модели как набор узлов и дефектов;

- 2) моделирование возбуждающего действия;

- 3) моделирование дефектов.

Результатом работы стало применение имитационной модели для определения необходимой частоты дискретизации, уточнения частот среза полосовых фильтров при поиске определенных дефектов. Также методом срав-

нения модельного и экспериментально-го сигналов были раскрыты некоторые неопределенности в диагностическом сигнале. Такой подход позволяет повысить качество диагностики дефектов, а также снизить время на анализ полученных результатов [3].

Также авторами было выполнено практическое применение фотограмметрии как метода технической диагностики. Целью работы является исследование возможностей применения фотограмметрии для оценки деформаций стальных конструкций ПТМ в рамках экспертизы промышленной безопасности, а также разработка подхода к увеличению точности измерений деформированного состояния элементов таких конструкций.

Исследование в области применения фотограмметрии при измерении деформаций элементов стальных конструкций подъемных сооружений позволило провести оценку их точности, дать предложения по нормированию допустимых значений погрешностей измерений. Исследование подтвердило, что фотограмметрия позволяет измерить деформацию крановых конструкций с погрешностью до 10 %, что делает ее перспективным методом для технической диагностики [4].

Однако для практического применения не-

обходимо решить проблемы, связанные с условиями съемки, качеством оборудования и методов обработки данных. Предложенные авторами методы, включая оптимизацию оборудования и разные способы оценки точности измерений, обеспечивают повышение надежности результатов и могут быть использованы в будущем развитии технологий.

Авторы статьи приходят к выводу о том, что вибрационная диагностика и фотограмметрия необходимы для контроля состояния подъемно-транспортных машин, их эффективность зависит от решения этих проблем посредством технических, методических и организационных усовершенствований, например:

1) использование современных методов обработки сигналов (например, машинное обучение) для выделения полезной информации из шумов;

2) разработка адаптивных алгоритмов, учитывающих переменные условия эксплуатации;

3) обучение персонала и внедрение автоматизированных систем диагностики с предустановленными шаблонами анализа;

4) комбинирование с другими методами диагностики для повышения достоверности результатов.

Список литературы

1. Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Ширман, А. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Ширман, А. Соловьев. – М. : [б. и.], 1996. – 276 с.
3. Vibrodiagnostics of hoisting crane mechanisms using simulation modeling / A.Yu. Ganshkevich, Ph.O. Fadeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1103. – № 1. – P. 012006.
4. Estimation of deformations of steel constructions of cranes based on photogrammetry / A.Yu. Ganshkevich, N.S. Shikhov, N.M. Stoyantsov // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1926. – № 1. – P. 012061.
5. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 ноября 2023 г. № 3097-р, Москва.
6. Решение Арбитражного суда г. Иваново по делу № А17-3784/2021 от 3 августа 2021 года.
7. Решение Арбитражного суда апелляционной инстанции г. Владивостока по делу № А51-33797/2013 от 26 октября 2017 года.
8. The economic impact of efficient crane dismantling in ports: a comprehensive analysis // Global Rigging [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.globalrigging.com/post/the-economic-impact-of-efficient-crane-dismantling-in-ports-a-comprehensive-analysis>.

References

1. Birger, I.A. Tekhnicheskaya diagnostika / I.A. Birger. – M. : Mashinostroyeniye, 1978. – 240 s.

2. Shirman, A. Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya / A. Shirman, A. Solov'yev. – M. : [b. i.], 1996. – 276 s.
 5. Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 3 noyabrya 2023 g. № 3097-r, Moskva.
 6. Resheniye Arbitrazhnogo suda g. Ivanovo po delu № A17-3784/2021 ot 3 avgusta 2021 goda.
 7. Resheniye Arbitrazhnogo suda apellyatsionnoy instantsii g. Vladivostoka po delu № A51-33797/2013 ot 26 oktyabrya 2017 goda.
-

© Ф.О. Фадеев, А.Ю. Ганшкевич, Н.М. Стоянцов, 2025

УДК 53.089.6

М.Н. БЕЛАЯ, Е.Ф. БАРИЕВА, С.Л. ГАВРИСЕНКО, Э.М. НАЛБАНДЯН
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕДУРЫ КАЛИБРОВКИ ВЕСОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ

Ключевые слова: весы лабораторные электронные; калибровка; наибольший предел взвешивания; наименьший предел взвешивания; неопределенность; оценивание; поверка.

Аннотация. В статье обоснована актуальность калибровки весов лабораторных электронных с целью разработки процедуры и методики их калибровки.

Цель статьи – обоснование необходимости разработки процедуры калибровки для весов лабораторных электронных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести анализ особенностей весов лабораторных электронных;
- определить и описать основные этапы оценивания неопределенности измерений.

Гипотеза исследования заключается в возможности предоставления лабораториями достоверной и объективной информации при проведении измерений весами лабораторными электронными.

Научные методы, использованные в данной статье: анализ, обобщение и синтез.

Основным результатом работы является становление основных этапов оценивания неопределенности измерений при калибровке весов лабораторных электронных.

лом взвешивания (**НмПВ**).

Лабораторные аналитические весы имеют достаточно широкий спектр применения (как во многих областях промышленности, так в и научно-исследовательской деятельности, а также контрольными органами). Лабораторные аналитические весы используются для взвешивания жидких, сыпучих и твердых веществ с высокой точностью.

В данной работе будут рассматриваться весы лабораторные аналитические электронные *ABT 220-5DM* фирмы «Kern» (рис. 1), применяемые в лабораторных и практических работах (дисциплина «Поверка и калибровка средств измерений»), а также при проведении научно-исследовательских работ на кафедре «Техногенная безопасность и метрология» Севастопольского государственного университета. Данная модель весов относится к специальному классу точности дискретного или неавтоматического действия.

Характеристики данной модели весов: НПВ = 220 г; НмПВ = 0,01 г; $d = 0,00001$ г; $e = 0,001$ г.

Эти весы применяются для поверки и калибровки гирь классов точности $F1$, $F2$, $M1$ массой от 10 мг до 220 г [1].

Обоснование для разработки процедуры калибровки весов лабораторных электронных

Введение

Лабораторные весы, рассматриваемые в данной работе, относятся к весам дискретного неавтоматического действия – это приборы, с помощью которых взвешивание производится повторяющимися циклами. Весы дискретного действия характеризуются наибольшим пределом взвешивания (**НПВ**) и наименьшим преде-

Повышение точности измерений является одной из важнейших проблем современной метрологии. Один из путей решения этой проблемы – усовершенствование методов обработки и оценивания точности результатов измерений. Для этого необходим переход к единым стандартам в области планирования, проведения и обработки измерений. Основой этих стандартов является Рекомендация *INC-1* «Выражение экс-



Рис. 1. Весы аналитические ABT220-5DM



Рис. 2. Основные этапы оценивания неопределенности измерений

периментальных неопределенностей», определившая классификацию неопределенностей по типу *A* и *B* в зависимости от способа их оценки, выражение этих неопределенностей в виде дисперсий (стандартных отклонений) и ковариаций, способ их суммирования путем сложения дисперсий и ковариаций и интервальную оценку как произведение суммарной неопределенности на коэффициент охвата.

Описание этапов оценивания неопределенности измерений при калибровке весов лабораторных электронных

Модельное уравнение представляет зависи-

мость выходной величины y от входных величин $x_1, \dots, x_m$ [2–4]:

$$y = f(x_1, \dots, x_m), \quad (1)$$

где $x_1, \dots, x_m$ – входные величины, т.е. измеряемая величина и возможные переменные (например, известные переменные из внешних источников, поправки, погрешности используемых средств измерений).

На втором этапе оценивания неопределенности измерений определяют значения входных величин при однократных или многократных измерениях. При многократных измерениях значение входной величины x_i определяется по формуле:



Рис. 3. Вариант определения стандартной неопределенности типа В

$$x_i = \bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}. \quad (2)$$

$$y = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^{n_i} f(x_{1q}, x_{2q}, \dots, x_{mq}). \quad (3)$$

На третьем этапе оценивается выходная величина:

Стандартная неопределенность измерения типа А входной величины определяется по формуле:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}. \quad (4)$$

Стандартная неопределенность типа B входной величины находится в зависимости от априорной информации об изменчивости входной величины (рис. 3) [5].

Коэффициенты чувствительности c_i показывают, как оценка выходной величины трансформируется с изменением оценок входных величин:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \Big|_{x_1, x_2, \dots, x_m}. \quad (5)$$

Неопределенность $u_i(y)$ входной величины определяется по формуле: $u_i(y) = c_i u(x_i)$.

Анализ неопределенности измерения представляется в виде бюджета неопределенности.

Бюджет неопределенности должен содержать:

- список всех входных величин $x_1, \dots, x_m$;
- оценки входных величин вместе с принадлежащими им стандартными неопределенностями измерения $u(x_i)$ и законами их распределения, а также числами степеней свободы.

Для каждой величины таблица должна содержать коэффициент чувствительности c_i и вклад неопределенности $u_i(y)$.

Определение стандартной неопределенности выходной величины осуществляется по формулам, называемым законом распространения неопределенности:

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}. \quad (6)$$

Данная теория является основой для расчета неопределенности разрабатываемой методики калибровки.

Список литературы

1. ГОСТ OIML R 111-1-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Гири классов E(1), E(2), F(1), F(2), M(1), M(1-2), M(2), M(2-3) и M(3). Часть 1. Метрологические и технические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200086911?ysclid=l8h2t4a74398360426>.
2. Захаров, И.П. Неопределенность измерений для чайников и начальников: учеб. пособие, 5-е изд., перераб. и дополн. / И.П. Захаров. – Санкт-Петербург : Политехника-Сервис, 2018. – 60 с.
3. Архипов, А.В. Поверка и калибровка средств измерения массы. Часть 1. Начальные сведения об измерении массы. Учебное пособие / А.В. Архипов, Е.Г. Исакович, В.А. Крапивина, М.В. Сенянский. – Электрон. дан. – М. : АСМС, 2013. – 112 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://e.lanbook.com/book/69305>.
4. Белая, М.Н. К вопросу о пищевой безопасности / М.Н. Белая, Е.С. Шахова // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 5(119). – С. 82–86.
5. Николаева, Е.А. Алгоритм расчета неопределенности при проведении калибровки средств измерений / Е.А. Николаева, А.В. Николаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5. – С. 162–167.

References

1. GOST OIML R 111-1-2009 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy (GSI). Giri klassov E(1), E(2), F(1), F(2), M(1), M(1-2), M(2), M(2-3) i M(3). Chast' 1. Metrologicheskiye i tekhnicheskkiye trebovaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200086911?ysclid=l8h2t4a74398360426>.
2. Zakharov, I.P. Neopredelennost' izmereniy dlya chaynikov i nachal'nikov: ucheb. posobiye, 5-ye izd., pererab. i dopoln. / I.P. Zakharov. – Sankt-Peterburg : Politehnika-Servis, 2018. – 60 s.
3. Arkhipov, A.V. Poverka i kalibrovka sredstv izmereniya massy. Chast' 1. Nachal'nyye svedeniya ob izmerenii massy. Uchebnoye posobiye / A.V. Arkhipov, Ye.G. Isakovich, V.A. Krapivina, M.V. Senyanskiy. – Elektron. dan. – M. : ASMS, 2013. – 112 s. [Electronic resource]. – Access mode :

<http://e.lanbook.com/book/69305>.

4. Belaya, M.N. K voprosu o pishchevoy bezopasnosti / M.N. Belaya, Ye.S. Shakhova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2021. – № 5(119). – S. 82–86.

5. Nikolayeva, Ye.A. Algoritm rascheta neopredelennosti pri provedenii kalibrovki sredstv izmereniy / Ye.A. Nikolayeva, A.V. Nikolayev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017. – № 5. – S. 162–167.

© М.Н. Белая, Е.Ф. Бариева, С.Л. Гаврисенко, Э.М. Налбандян, 2025

УДК 613.6

Д.А. БЕРЕЖНОВ¹, А.А. КИРИЛЛИНА¹, Е.И. ЛЬВОВА², А.П. ПЕСТЕРЕВ¹¹ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»;²АО «Водоканал», г. Якутск

АНАЛИЗ МЕДИЦИНСКИХ ОСМОТРОВ РАБОТНИКОВ СФЕРЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «ВОДОКАНАЛ»

Ключевые слова: безопасность; медицинский осмотр; охрана труда; профессиональные заболевания; техносферная безопасность.

Аннотация. Целью исследования является выявление групп риска по развитию профессиональных заболеваний среди работников сферы водоснабжения и водоотведения на примере АО «Водоканал». В рамках исследования поставлены следующие задачи: анализ охвата работников периодическими медицинскими осмотрами за 2021–2023 гг., определение влияния возраста и условий труда на формирование групп риска, разработка рекомендаций по снижению профессиональных рисков на предприятии. Основная гипотеза: работники, занятые во вредных условиях труда (физические перегрузки, шум, химические факторы), чаще попадают в группу риска по профессиональным заболеваниям. В качестве методов исследования применялись статистический анализ, корреляционный анализ и причинно-следственный анализ. Наибольший риск выявлен в подразделениях с высокой физической нагрузкой (РСУ, РМЦ) среди работников 1960–1970 гг. рождения. Результаты подтверждают гипотезу о связи условий труда и возраста с профессиональными рисками.

Введение

Работодатель обязан организовать проведение за счет собственных средств обязательных предварительных (при поступлении на работу) и периодических (в течение трудовой деятельности) медицинских осмотров [1]. Проводя медицинские осмотры работников, организация

решает несколько ключевых моментов: выявление заболеваний на ранних стадиях развития, снижение уровня травматизма и повышение производительности труда, решение вопроса о том, позволяет ли здоровье работника выполнять порученную работу, а также профилактику профессиональных заболеваний.

Для повышения эффективности мероприятий по улучшению условий и охраны труда организациям рекомендуется проводить анализ показаний, полученных с помощью проведения медицинских осмотров работников.

Анализ медицинских осмотров позволяет выделить группы риска среди работников, что способствует определению приоритетных направлений профилактики и проведению целенаправленного обучения безопасным методам работы. Это также помогает улучшить условия труда и разработать индивидуальные планы профилактики для уязвимых категорий работников, включая регулярные осмотры и вакцинацию. Таким образом, выделение групп риска является важным шагом в профилактике профессиональных заболеваний и травматизма, обеспечивая более безопасную рабочую среду.

Литературный обзор

Мы рассмотрели работы, в которых приведены похожие исследования, связанные с медицинскими осмотрами работников. В качестве примера работа Н.Н. Петрухина, И.В. Бойко и С.В. Гребенькова исследует эффективность выявления профессиональных заболеваний у медицинских работников при проведении медицинских осмотров здравоохранения [2]. Также заслуживает внимания работа Е.А. Головки, И.А. Несиной, Е.Л. Смирновой, Е.Л. Потеряе-

Таблица 1. Удельный вес работников, занятых во вредных(опасных) условиях труда (%)

	Наименование показателей	2021		2022		2023		Динамика (рост/снижение по сравнению с 2021 г.)
		РС(Я)*	ВДК	РС(Я)	ВДК	РС(Я)	ВДК	
	Удельный вес работников, занятых во вредных условиях труда	45,6	61,7	48,9	60,5	52,4	62,9	+1,2
	Из них под воздействием химического фактора	25,2	40,2	28,8	39,5	26,4	40,5	+0,3
	под воздействием биологического фактора	0,9	0	1	0	1,6	0,2	+0,2
	Аэрозолей преимущественно фиброгенного действия	0,6	0	0,2	0	0,1	0	
	шума	22,3	35	23,2	34,5	29,2	35,5	+0,5
	вибрации	2,9		4,0		3,4		
	микроклимата	0,4	1,5	0,5	0,9	0,7	1,2	-0,3
	Электромагнитное поле (ЭМП)	0		0,1		0,1		
	радиации	0	0	0	0	0	0	
0	освещенности	0		0,1		0,1		
1	тяжести труда	22,8	34,3	22,6	32,7	22,1	28	-6,3
2	напряженности труда	2,4	1,4	2,9	1,2	2,5	1,1	-0,3

*РС(Я) – среднереспубликанские показатели в сфере водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений

**ВДК – АО «Водоканал»

вой, Н.Н. Фигуренко, К.О. Демешко, анализ которой составлен по результатам проведения периодических медицинских осмотров сотрудников ГБУЗ НСО «Государственный Новосибирский областной клинический госпиталь ветеранов войн» [3].

АО «Водоканал» является предприятием жилищно-коммунального хозяйства Республики Саха (Якутия) с количеством работников свыше 1 000 человек (списочная численность работников (без находящихся в отпуске по беременности и родам и по уходу за ребенком) – 1 085) [4].

Материалы и методы

В рамках мероприятий по профилактике профессиональной заболеваемости предприятием ежегодно организуется периодический

медицинский осмотр работников [5].

По итогам периодического медицинского осмотра устанавливаются группы риска по опорно-двигательному аппарату, шуму, органам дыхания. В среднем около 14 % осмотренных работников попадают в группу риска развития соматических заболеваний и ухудшения состояния здоровья, что в дальнейшем может привести к развитию профессиональной патологии.

Согласно списку контингента, периодическому и предварительному медицинскому осмотру подлежат 184 рабочие профессии и должности, на которых трудится 722 человека, в том числе 145 женщин.

Основанием для проведения медицинского осмотра, помимо работы водозаборных сооружений и управления транспортными средствами, являются вредные условия труда, указанные в табл. 1.

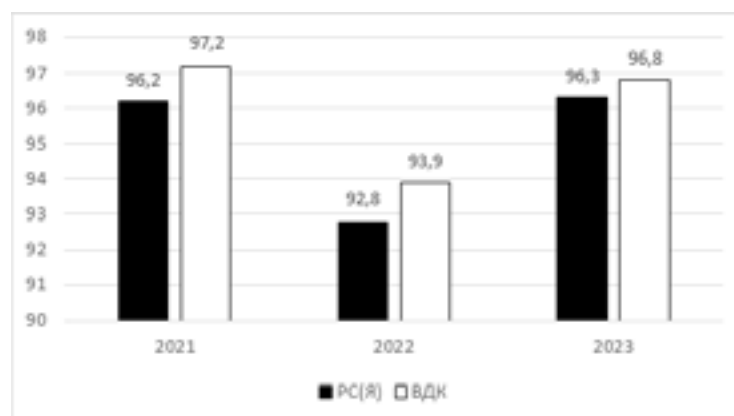


Рис. 1. Охват работников периодическими медицинскими осмотрами (%)

Таблица 2. Результаты проведения периодических медицинских осмотров в динамике за 2021–2023 гг.

Категории обследованных	Год		
	2021	2022	2023
Не имеющие медицинских противопоказаний к работе	628	632	646
Нуждающиеся в амбулаторном обследовании и лечении	21	64	78
Нуждающиеся в санаторно-курортном лечении	216	95	36
Нуждающиеся в диспансерном наблюдении	329	189	143
Находящиеся в наблюдении в группе риска	146	150	—

Удельный вес работников, занятых во вредных условиях труда, в АО «Водоканал» превышает среднереспубликанские показатели в отрасли жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) в 2021 и 2022 гг. в 1,3 и 1,2 раза соответственно.

Для определения итогов периодических медицинских осмотров работников предприятия за последние три года (2021, 2022, 2023) проанализированы заключительные акты. Установлено, что охват работников периодическими медицинскими осмотрами в АО «Водоканал» ежегодно незначительно превышает среднереспубликанские показатели от 0,5–1,1 % (рис. 1).

Как видно из приведенной табл. 2, в 2021 г. численность работников, нуждающихся в амбулаторном обследовании и лечении, составила 21, что является 3,3 % от числа прошедших периодический медицинский осмотр.

Наибольшее число работников, нуждающихся в санаторно-курортном лечении (34,4 % от числа прошедших периодический медицинский осмотр), а также самые высокие показатели в численности работников, нуждающихся в диспансерном наблюдении (52,3 % от числа прошедших периодический медицинский осмотр), отмечались в 2021 г.

В 2022 г. показатели незначительно снизились: численность работников, нуждающихся в амбулаторном обследовании и лечении, составила 64 (10,1 % от числа прошедших), численность работников, нуждающихся в санаторно-курортном лечении, составила 95 (15 % от числа прошедших, по сравнению с 34,4 % в 2021 г.), численность работников, нуждающихся в диспансерном наблюдении составила 189 (30 % от числа прошедших по сравнению с 52,3 % в 2021 г.).

В 2023 г. численность работников, нужда-

Таблица 3. Численность работников структурных подразделений, находящихся в группе риска

Группы риска	АТЦ мех	АТЦ	АТЦ рем	ВЗС	РМЦ	РСУ	СВ
ОДА	1	13	2	1	3	9	8
Шум	1	4	3	7	7	2	–
ОДА + шум	–	6	2	–	11	–	–
ОДА + органы дыхания	–	–	–	–	–	1	–
Шум + органы дыхания	–	–	–	–	–	–	–
	СВ ВНС	СГЭ	СК	СК КНС	КИПиА	СБОС	ХБЛ
ОДА	–	10	10	3	3	3	3
Шум	1	1	2	1	2	5	3
ОДА + шум	–	2	6	5	2	2	–
ОДА + органы дыхания	–	–	–	–	–	–	–
Шум + органы дыхания	–	–	–	–	–	–	1

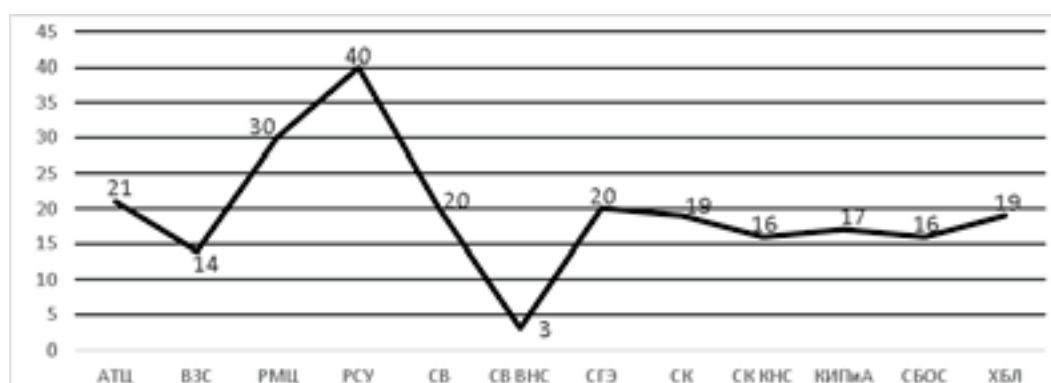


Рис. 2. Средний показатель работников по структурным подразделениям (чел.)

ющихся в амбулаторном обследовании и лечении, составила 78 (12 % от числа прошедших), численность работников, нуждающихся в санаторно-курортном лечении, составила 36 (5,5 % от числа прошедших), численность работников, нуждающихся в диспансерном наблюдении составила 143 (22 % от числа прошедших). Такие показатели могут косвенно свидетельствовать об улучшении качества проведения медицинских осмотров по сравнению с предыдущим годом.

Стоит отдельно отметить число работников, находящихся в наблюдении в группе риска, в 2021 г. их численность составила всего 146, в том числе 18 женщин. Существует три вида групп риска: по опорно-двигатель-

ному аппарату (ОДА), по органам дыхания и по шуму. Также некоторые работники одновременно попадают в две группы наблюдения.

В целом по предприятию 14 % работников попадают в группу риска развития соматических заболеваний и ухудшения состояния здоровья. Однако при анализе группы риска по подразделениям отмечаем, что у ремонтно-строительного участка (РСУ) самый высокий показатель (в пересчете на количество работников подразделения), также отмечаем, что самым низким показателем обладает служба водоснабжения (СВ).

При анализе группы риска по годам рождения в табл. 4 установлено, что наибо-

Таблица 3. Группы риска работников разных годов рождения

Группы риска	Года рождения			
	1950–1960	1960–1970	1970–1980	1980–2000
Всего работников	31	70	34	11
ОДА	9	36	19	5
Шум	9	17	9	4
ОДА + шум	13	15	6	2
ОДА + органы дыхания	–	1	–	–
Шум + органы дыхания	–	1	–	–

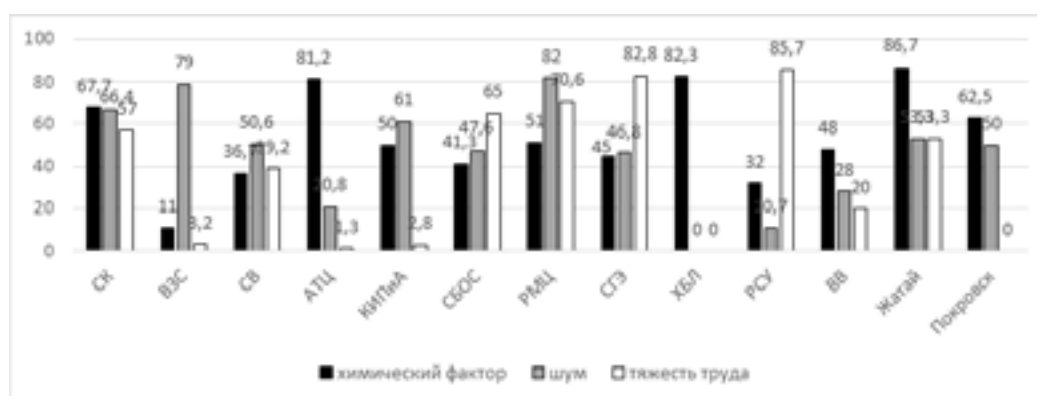


Рис. 3. Удельный вес работников, занятых во вредных условиях, по подразделениям, %

лее подвержены попаданию туда работники 1960–1970 гг. рождения (то есть старше 60 лет). Чаще всего в этой группе возникают заболевания опорно-двигательного аппарата, а также тугоухость, которые могут комбинироваться.

При сравнении группы риска по развитию ухудшения состояния здоровья и предрасположенности к профессиональному заболеванию с условиями труда в подразделениях отмечается прямое следствие влияния тяжести труда в РСУ, где имеется самый высокий показатель удельного веса работников в контакте с физическими перегрузками. На втором ранговом месте среди структурных подразделений с наиболее вредными условиями труда по тяжести – служба главного энергетика (СГЭ). Однако работники СГЭ не включены в группу риска, так как средний возраст работников подразделения составляет 35–45 лет. На третьем ранговом ме-

сте по показателю тяжести находится ремонтно-механический цех (РМЦ), работники которого попали в группу риска по развитию профессионального заболевания по итогам медицинского осмотра.

Заключение

1. К группе риска по развитию ухудшения состояния здоровья и предрасположенности к профессиональному заболеванию по итогам периодических медицинских осмотров относятся работники РСУ, РМЦ 1960–1970 гг. рождения, у которых развиваются преимущественно заболевания опорно-двигательного аппарата.

2. На включение в группу риска по развитию ухудшения состояния здоровья и предрасположенности к профессиональному заболеванию влияют возраст работников и условия

труда на рабочем месте.

Рекомендации по предупреждению профессионального заболевания на предприятии включают в себя комплекс мероприятий, направленных, во-первых, на ежегодный контроль выявленной группы риска и направление ее для прохождения углубленного медицинского ос-

мотра в Якутский республиканский центр профессиональной патологии, во-вторых, улучшение условий труда по показателям тяжести (физические перегрузки) в подразделениях РСУ и РМЦ (внедрение механизации труда, использование средств автоматизации рутинных технологических операций).

Список литературы

1. Трудовой кодекс Российской Федерации: от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 08.08.2024) // Собрание законодательства РФ. – 07.01.2002. – № 3 (ч. 3.). – С. 214.
2. Петрухин, Н.Н. Эффективность выявления профессиональных заболеваний у медицинских работников при проведении медицинских осмотров здравоохранения / Н.Н. Петрухин, И.В. Бойко, С.В. Гребеньков // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59. – № 9. – С. 719.
3. Анализ состояния здоровья медицинских работников по результатам проведения обязательных периодических медицинских осмотров / Е.А. Головкин, И.А. Несина, Е.Л. Смирнова [и др.] // Медицинский вестник Юга России. – 2022. – Т. 13. – № 4. – С. 22–27.
4. Сведения о состоянии условий труда и компенсациях за работу с вредными и (или) опасными условиями труда / АО «Водоканал» // Статистический отчет 1-Т (условия труда). – 2023.
5. Приказ Минздрава России от 28 января 2021 г. № 29н «Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (с изменениями на 1 февраля 2022 года)» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/573473070>.
6. Бережнов, Д.А. Влияние компьютерных игр на обучающихся высших и средних профессиональных учебных заведений России / Д.А. Бережнов, В.А. Яковлев // Перспективы науки. – 2021. – № 5(140). – С. 246–248.

References

1. Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii: ot 30.12.2001 № 197-FZ (red. ot 08.08.2024) // Sobraniye zakonodatel'stva RF. – 07.01.2002. – № 3 (ch. 3.). – S. 214.
2. Petrukhin, N.N. Effektivnost' vyyavleniya professional'nykh zabolevaniy u meditsinskikh rabotnikov pri provedenii meditsinskikh osmotrov zdravookhraneniya / N.N. Petrukhin, I.V. Boyko, S.V. Greben'kov // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. – 2019. – T. 59. – № 9. – S. 719.
3. Analiz sostoyaniya zdorov'ya meditsinskikh rabotnikov po rezul'tatam provedeniya obyazatel'nykh periodicheskikh meditsinskikh osmotrov / Ye.A. Golovko, I.A. Nesina, Ye.L. Smirnova [i dr.] // Meditsinskiy vestnik Yuga Rossii. – 2022. – T. 13. – № 4. – S. 22–27.
4. Svedeniya o sostoyanii usloviy truda i kompensatsiyakh za rabotu s vrednymi i (ili) opasnymi usloviyami truda / AO «Vodokanal» // Statisticheskiy otchet 1-T (usloviya truda). – 2023.
5. Prikaz Minzdrava Rossii ot 28 yanvarya 2021 g. № 29n «Ob utverzhdenii Poryadka provedeniya obyazatel'nykh predvaritel'nykh i periodicheskikh meditsinskikh osmotrov rabotnikov, predusmotrennykh chast'yu chetvertoy stat'i 213 Trudovogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii, perechnya meditsinskikh protivopokazaniy k osushchestvleniyu rabot s vrednymi i (ili) opasnymi proizvodstvennymi faktorami, a

takzhe rabotam, pri vypolnenii kotorykh provodyatsya obyazatel'nyye predvaritel'nyye i periodicheskiye meditsinskiye osmotry (s izmeneniyami na 1 fevralya 2022 goda)» // Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/573473070>.

6. Berezhnov, D.A. Vliyaniye komp'yuternykh igr na obuchayushchikhsya vysshikh i srednikh professional'nykh uchebnykh zavedeniy Rossii / D.A. Berezhnov, V.A. Yakovlev // Perspektivy nauki. – 2021. – № 5(140). – S. 246–248.

© А.Г. Ионов, А.В. Юдин, 2025

УДК 661.723 : 661.725 : 661.728

*М.Ю. КНЯЗЕВ**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань*

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ И ЦЕПЕЙ ЕЕ ПОСТАВОК НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА РЫНКА БЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ

Ключевые слова: бензойная кислота; импортозамещение; прогноз до 2030 г.; рынок; производство в России; цепь поставок.

Аннотация. Целью исследования является оценка перспективы организации в России малотоннажного производства и создания цепей поставок важного импортозамещающего химического продукта – бензойной кислоты (БК). Основные задачи исследования включают анализ состояния отечественного рынка БК за последние пять лет (с 2019 по 2024 гг.) и прогноз его развития до 2030 г. Гипотеза исследования предполагает, что организация производства БК в РФ обеспечит удовлетворение растущего спроса на этот продукт в различных отраслях промышленности и позволит постепенно заменить импортную продукцию. Методы исследования основываются на поиске и анализе данных о производстве бензойной кислоты, объемах экспорта и импорта, главных импортерах, объемах потребления по ключевым сферам использования, динамике цен, а также на прогнозировании темпов спроса и оценке структуры потребления БК по сферам использования на период до 2030 г. Результаты проведенного анализа свидетельствуют об активности рынка и растущем спросе на БК, что указывает на высокую перспективность создания отечественного импортозамещающего производства этого продукта.

Введение

Химическая промышленность России за-

нимает одну из ключевых позиций в экономике страны, являясь важнейшей отраслью, обеспечивающей как внутренний рынок, так и экспорт. Одним из приоритетных направлений ее развития является увеличение производства малотоннажной химической продукции. В современных условиях актуальность развития малотоннажной химии возрастает, поскольку это направление способствует не только повышению добавленной стоимости продукции, но и снижению зависимости от традиционных и импортируемых химикатов.

Развитие этого сектора осуществляется прежде всего за счет глубокой переработки сырья, в том числе нефтехимического, что позволяет получать высококачественные материалы и новые химические продукты. Эти товары востребованы не только внутри химической промышленности, но и в таких отраслях, как фармацевтика, агрохимия, косметическая промышленность, электроника и другие. Кроме того, развитие малотоннажной химии открывает возможности для внедрения инновационных технологий, снижения воздействия производства на окружающую среду и повышения его энергоэффективности.

Таким образом, малотоннажная химическая промышленность является важным сегментом, который способствует устойчивому экономическому росту и развитию новых отраслей.

Толуол, являющийся одним из компонентов легкой фракции ароматических углеводородов (бензол, толуол, кислоты и др.), хотя и не столь востребован в массовом производстве, имеет значительный потенциал в контексте малотон-

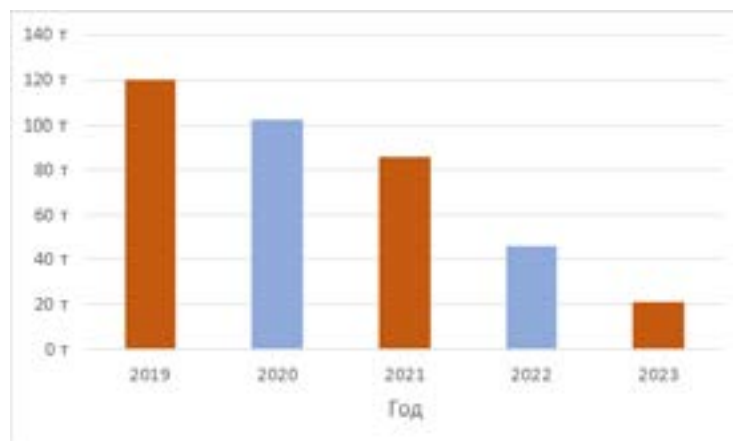


Рис. 1. Объем производства БК (технической) в России в 2019–2023 гг.

нажной химии. Его переработка и использование полученных продуктов в различных нишевых отраслях открывают новые возможности для более эффективного применения нефтехимического сырья. Более 50 % получаемого в настоящее время толуола перерабатывается в бензол путем деалкилирования [1; 2]. Вместе с тем известен производственный комплекс глубокой переработки толуола [3], основанный на объединении физических, химических и технологических процессов, получивший название «бензиловый кластер» [4]. Одним из направлений переработки толуола является его окисление до БК. Целью настоящей статьи выступает оценка перспективности организации производства и цепей поставок БК в России на основе анализа состояния и перспектив отечественного рынка этого химического продукта. С этой целью рассмотрены и проанализированы данные о производстве БК в России за последние пять лет (в период 2019–2024 гг.), объемах экспорта и импорта, основных импортерах, объемах потребления с распределением по основным сферам использования и диагностике цен. По результатам этого анализа подготовлен прогноз темпов спроса и оценена структура потребления БК по сферам использования на период до 2030 г. Также приведены данные об основных технологиях получения БК.

Рынок и производство бензойной кислоты в 2019–2024 гг.

Существует несколько способов производства БК, и они могут варьироваться в зависимости от сырья и технологий. Все эти способы

основаны на химических реакциях, приводящих к окислению углеводородных молекул (толуола, ксилола, смесей углеводородов) или других ароматических соединений (фенола, бромбензола, бензилового спирта) с образованием бензойной кислоты. Выбор метода зависит от доступности исходных материалов, стоимости технологий и требований к чистоте конечного продукта.

Основным способом производства БК является жидкофазное каталитическое окисление толуола кислородосодержащим газом, с которым эффективно и экономически выгодно производят БК в промышленном масштабе. Этот способ и его различные модификации, разработанные в СССР и применяемые с 1974 г., получили наибольшее развитие и сохранили актуальность до сегодняшнего дня из-за высокой эффективности и экономичности по сравнению с другими методами производства БК [5]. Примером такого процесса является окисление толуола в среде углеводорода [6] воздухом при 0,196–0,784 МПа и 150–170°C в присутствии солей кобальта или марганца (0,02–0,10 %). Степень превращения толуола составляет от 30 % до 50 %. На стадии окисления из 1 т толуола получают 1,23 т БК (32 % от оксидата) и 0,066 т побочных кислородсодержащих продуктов, главным образом бензальдегид (1,4 % от оксидата), бензиловый спирт (0,18 %), бензил-бензоат, бензилформиат и бензилацетат. При фракционировании оксидата в вакууме последовательно выделяют толуол, побочные продукты (спирт и альдегид, возвращаемые на окисление), БК (степень чистоты 99,85 %) и кубовый остаток (направляемый на сжигание).

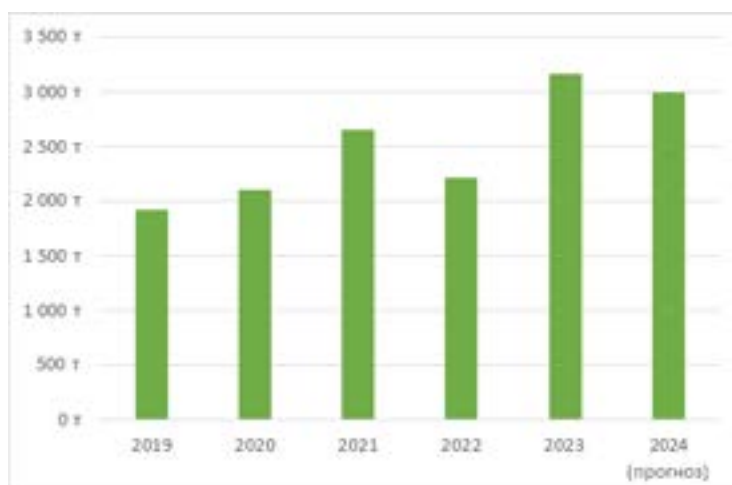


Рис. 2. Объем импорта БК в Россию в 2019–2024 гг.

Таблица 1. Объемы импорта БК по сферам ее использования, кг

Направление использования	2022	2023	2024 (1 кв-л)
Химические производства (лакокрасочные, резинотехнические и др.)	1 348 830	1 921 150	450 160
Производство комбикормов	478 875	868 562	190 340
Производство охлаждающих жидкостей	100 000	140 000	80 000
Парфюмерно-косметическая промышленность	89 603	129 400	26 000
Пищевая промышленность (консервант E210)	43 620	112 184	
Бытовая химия	120 106		
Прочее	6 874	1 189	2 569

Суммарный выход БК с учетом возврата побочных продуктов составляет 93–94 % от теоретического.

До 2010 г. БК производилась в ОАО «Алтайхимпром» (проектная мощность производства 600 т/г.). В настоящее время БК производит АО «Камтэк-Химпром» (г. Пермь, проектная мощность 130 т/г.). Реальный объем производства БК в 2019–2023 гг. был значительно ниже проектной мощности (рис. 1), что обусловлено двумя основными причинами: выпуском БК технического качества (содержание основного вещества не более 99 %) и снижением конкурентоспособности отечественной продукции относительно зарубежных поставок БК, прежде всего из Китая. Снижение загрузки мощности производства отечественной БК произошло с 91,5 % в 2019 г. до 16 %

в 2023 г.

Экспорт отечественной технической БК в период 2022–2024 гг. не осуществлялся. В отличие от экспорта, объем импорта БК на отечественный рынок за период 2019–2024 гг. во много раз превосходит потенциальные российские мощности по производству БК (рис. 2).

Основная цепь поставок БК в 2022–2024 гг. на российский рынок осуществляется китайскими компаниями (степень монополизации рынка около 100 %). За период 2022–2023 гг. поставки БК из Китая увеличились в натуральном выражении на 26,68 % (с 1976 т до 3 171 т), по стоимостному – только на 9,94 %, что объясняется удешевлением продукта с 1 491 долл./т до 1 075 долл./т.

В табл. 1 приведены объемы потребления

Таблица 2. Прогноз спроса на бензойную кислоту в период до 2030 г. с распределением по основным сферам использования, т

Направление использования	2023 факт.	Прогноз (базовый вариант)			
		2024	2025	2026	2030
Спрос, всего	3 192,6	2 993,9	3 133,4	3 313,9	4 390,3
Химические производства	1 921,2	1 880,7	1 962,4	2 063,7	2 694,4
Производство комбикормов	868,6	737,2	767,3	804,2	1 009,9
Производство охлаждающих жидкостей	140,0	130,0	138,0	150,0	240,0
Парфюмерно-косметическая промышленность	129,4	120,0	144,0	168,0	288,0
Пищевая промышленность	112,2	90,0	92,6	95,5	121,1
Прочее	21,2	36,0	29,1	32,5	36,9

импорта БК с распределением по сферам их использования. Анализ структуры импорта БК, приведенный в таблице, показывает, что основной сферой ее использования является химическое производство. В период 2022–2023 гг. потребление БК в этом секторе возросло более чем на 1/3 (на 42,4 %). Расширилось потребление БК в животноводстве – с 479 т до 867 т, то есть почти в два раза, что является следствием интенсивного развития российского животноводства.

Емкими сферами потребления БК являются производство комбикормов, охлаждающих жидкостей, а также парфюмерно-косметическая промышленность: в 2023 г. в отмеченных областях было потреблено 27,4 %, 4,4 % и 4,1 % общего объема БК соответственно.

В настоящее время мощность действующего предприятия по производству БК составляет 130 т/г. Производимая в России БК является технической (содержание основного вещества не превышает 99 %). За 2019–2023 гг. произошло резкое падение производства БК (более чем вдвое), что можно объяснить снижением конкурентоспособности относительно зарубежных поставок, прежде всего из Китая.

Производимого в России объема БК недостаточно для удовлетворения всевозрастающего спроса. Дефицит продукта покрывается закупками по импорту, который за период 2022–2023 гг. увеличился в 1,2 раза и достиг 3 172 т.

На рынке БК преобладают компании, за-

купающие продукт по импорту для ее перепродажи (трейдеры). Самую емкую нишу среди компаний-трейдеров имеет ООО «НЕО «КЕМИКАЛ» (в 2023 г. – 22, 4 % рынка).

Особое место на рынке занимают компании, закупающие БК для собственных нужд. Это прежде всего ООО «АГРОПОСТАВКА МТ» для производства комбикормов и ООО «ТОСОЛ СИНТЕЗ ТРЕЙДИНГ» для производства антифризов. За период 2022–2023 гг. импорт этих компаний увеличился на 145 % (с 300 т до 736 т) и 66 % (с 60 т до 100 т), соответственно, а их доли на рынке в 2023 г. составили 23,2 % и 3,2 %. Другая компания ООО «ГЛОБАЛВИТ», отреагировавшая на увеличение спроса на БК для комбикормов, также начала производить закупки БК, в результате ее доля на рынке составила порядка 2,4 %.

За период 2022–2023 гг. импорт БК расширился в натуральном выражении на 20,4 %. По стоимостному показателю вследствие снижения цен прирост импорта составил около 2,2 %. Доля импорта в потреблении БК в 2023 г. составила почти 100 %.

Наблюдаемое резкое различие между сложившимся объемом потребления (в основном импорт) и возможностью производства БК на отечественных предприятиях ставит перед российскими химиками задачу импортозамещения: необходимо создать в самое ближайшее время новые отечественные производственные мощности для выпуска БК медицинского качества с содержанием основного продукта не менее 99,98 %.

Таблица 3. Перспектива развития российского рынка бензойной кислоты на период до 2030 г., т

Направление использования	2022	2023	2024	2025	2026	2030
Производство	50	20	32	25	27	1 900
Экспорт	–	–	–	–	–	–
Импорт	2 188	3 172	2 962	3 109	3 287	2 490
Внутренний рынок	2 238	3 192	2 994	3 134	3 314	4 390
Доля импорта в потреблении, %	98 %	99 %	99 %	99 %	99 %	57 %

Прогноз развития рынка бензойной кислоты до 2030 г.

Проведенный анализ рынка и производства БК в РФ в 2019–2024 гг. позволил сформулировать прогноз развития российского рынка БК на период до 2030 г. В этом прогнозном периоде к 2026 г. спрос на бензойную кислоту российских потребителей может вырасти на 5 %, а к 2030 г. – на 40 % по сравнению с 2023 г. Наиболее существенно к 2030 г. по сравнению с 2023 г., вероятно, увеличится спрос на продукт со стороны производителей парфюмерно-косметической продукции (на 123 %) и охлаждающих жидкостей (на 71 %) (табл. 2).

В прогнозном периоде к 2030 г. общий спрос на БК российских потребителей может составить 4 390 т. Основным потребителем продукта останется химическое производство: спрос к 2030 г. ожидается на уровне 2 700 т. Также увеличится спрос на продукт со стороны производителей комбикормов, предположительно до 1 000 т (табл. 2).

В плане мероприятий по импортозамещению в отрасли химической промышленности на период до 2030 г. предусматривается ввод новых мощностей по выпуску БК. Ожидается, что при осуществлении этого проекта к 2030 г. производство бензойной кислоты достигнет

1 900 т, то есть возрастет более чем в десять раз.

Вместе с тем образовавшегося производственного потенциала будет недостаточно для удовлетворения внутреннего спроса, который, согласно оценке, к 2030 г. достигнет 4 390 т. Для покрытия дефицита потребуется импорт БК в объеме 2 490 т. Несмотря на то, что доля импорта в потреблении снизится до 57 % (табл. 3), экономическая самодостаточность рынка БК к 2030 г. не будет достигнута.

По оценке, к 2030 г. среднегодовая импортная цена на БК возрастет относительно уровня 2024 г. на 16 %, достигнув 1,15 долл./кг.

Заключение

Проведенное в данной статье исследование позволяет сделать следующий основной вывод. Рост спроса на бензойную кислоту и общемировая тенденция удорожания химической продукции предопределяет продолжение роста цен на этот продукт, при этом уровень цен будет определяться чистотой продукта, направлением его использования и объемами поставок. Ожидаемый рост спроса на БК и тренд повышения цен на импортную продукцию свидетельствуют о перспективности рынка данного продукта и дают основание для создания отечественного импортозамещающего производства БК.

Список литературы

1. Лебедев, Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза / Н.Н. Лебедев. – М. : Химия, 1981. – 608 с.
2. Справочник нефтехимика. В двух томах. Т. 1. / Под ред. С.К. Огородникова. – Л. : Химия, 1978. – 496 с.
3. Траханова, Е.В. Экономическое обоснование и разработка технологии производства им-

портозамещающей продукции из толуола / Е.В. Траханова, М.Ю. Князев, А.В. Артемов, М.В. Дюбанов // Российский химический журнал. – 2024. – Т. 68. – № 1. – С. 74–79.

4. Князев, М.Ю. Бензилбензоат: основные методы получения, свойства, применение (обзор) / М.Ю. Князев, Е.В. Траханова, А.В. Артемов, М.В. Дюбанов // Химическая промышленность сегодня. – 2024. – № 4. – С. 29–36.

5. Gizli, A. Catalytic liquid phase oxidation of toluene to benzoic acid / A. Gizli, G. Aytimur, E. Alpay, S. Atalay // Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology. – 2008. – Vol. 31. – No. 3. – P. 409–416.

6. Соколов, В.З. Производство и использование ароматических углеводородов / В.З. Соколов, Г.Х. Харлампович. – М. : Химия, 1980. – С. 69–70.

References

1. Lebedev, N.N. Khimiya i tekhnologiya osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza / N.N. Lebedev. – М. : Khimiya, 1981. – 608 s.

2. Spravochnik neftekhimika. V dvukh tomakh. T. 1. / Pod red. S.K. Ogorodnikova. – L. : Khimiya, 1978. – 496 s.

3. Trakhanova, Ye.V. Ekonomicheskoye obosnovaniye i razrabotka tekhnologii proizvodstva importozameshchayushchey produktsii iz toluola / Ye.V. Trakhanova, M.YU. Knyazev, A.V. Artemov, M.V. Dyubanov // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2024. – Т. 68. – № 1. – С. 74–79.

4. Knyazev, M.YU. Benzilbenzoat: osnovnyye metody polucheniya, svoystva, primeneniye (obzor) / M.YU. Knyazev, Ye.V. Trakhanova, A.V. Artemov, M.V. Dyubanov // Khimicheskaya promyshlennost' segodnya. – 2024. – № 4. – С. 29–36.

6. Sokolov, V.Z. Proizvodstvo i ispol'zovaniye aromaticeskikh uglevodorodov / V.Z. Sokolov, G.KH. Kharlampovich. – М. : Khimiya, 1980. – С. 69–70.

© М.Ю. Князев, 2025

УДК 661.723 : 661.725 : 661.728

*М.Ю. КНЯЗЕВ**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕНЗОАТА НАТРИЯ НА БАЗЕ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: анализ российского рынка; бензоат натрия; динамика потребления; организация производства; прогноз до 2030 г.

Аннотация. Целью исследования является комплексный анализ перспектив организации производства бензоата натрия (БН) в России на базе отечественной химической промышленности. Исследование направлено на оценку текущего состояния рынка БН, прогнозирование динамики его потребления до 2030 г. и обоснование необходимости создания отечественного производства для импортозамещения. Основные задачи исследования: анализ отечественного рынка БН за период 2019–2024 гг. и прогноз его развития до 2030 г. Гипотеза исследования предполагает, что рост спроса на БН, особенно со стороны социально значимых отраслей, таких как пищевая промышленность, требует развития отечественного производства данного продукта для снижения зависимости от импорта и обеспечения технологической независимости страны. Методы исследования включают статистический анализ данных о производстве, импорте и потреблении БН, прогноз динамики спроса на основе текущих тенденций развития отраслей-потребителей, оценку экономической целесообразности различных технологий получения БН. Результаты проведенного анализа свидетельствуют об актуальности создания отечественного производства БН. По прогнозу, к 2030 г. объем потребления БН в России может достичь 5 670 т, что на 30 % выше уровня 2023 г. При этом среднегодовая импортная цена продукта ожидается на уровне 1,4 долл./кг. Доминирующей сферой потребления остается пищевая промышленность (около 80 %), однако наблюдается рост спроса в парфюмерно-косметической и целлюлозно-бумажной промышленности. Рекомендуются использование метода

омыления бензойной кислоты щелочным агентом как наиболее экономически эффективного для промышленного производства БН.

Введение

Разработка отечественных производственных мощностей для создания ценных химических продуктов с широким спектром применения становится ключевым приоритетом, направленным на повышение эффективности использования сырьевых ресурсов и снижение зависимости от импорта. Особую актуальность приобретает глубокая переработка нефтехимического сырья, включая толуол – один из ключевых компонентов легкой фракции ароматических углеводородов. Это направление играет стратегическую роль в модернизации химической промышленности России.

Настоящая статья является продолжением серии публикаций, посвященных исследованию возможностей организации производства продуктов глубокой переработки толуола в РФ. В предыдущей публикации [1] был проведен детальный анализ перспектив производства в РФ бензойной кислоты, представляющей собой важнейший продукт переработки толуола и базовое вещество для дальнейшего получения различных производных. В данной статье внимание сосредоточено на следующем продукте переработки бензойной кислоты – БН, который широко используется в пищевой, косметической и бытовой химической промышленности как консервант, стабилизатор и пищевая добавка E211 [2]. При этом отсутствие собственного производства БН в России делает его импорто-зависимым товаром, что подчеркивает необходимость создания отечественной инфра-

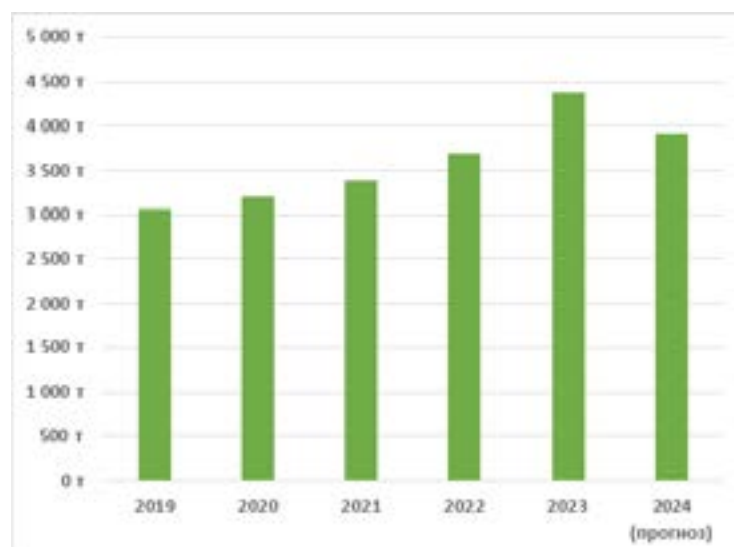


Рис. 1. Объем импорта бензоата натрия в 2019–2024 гг., т

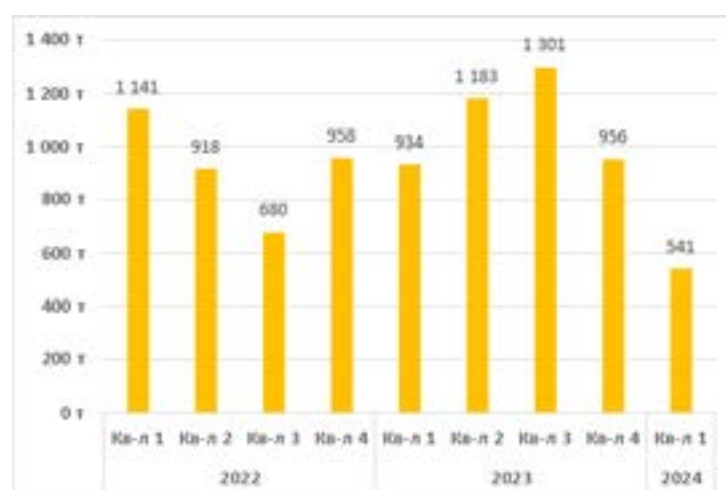


Рис. 2. Квартальные объемы импорта бензоата натрия в 2022–2024 гг., т

структуры для его производства.

Целью настоящей статьи является комплексный анализ перспектив организации производства БН в России. В рамках исследования представлены данные о состоянии и динамике отечественного рынка БН за период 2019–2024 гг., включая информацию о производстве, импорте и потреблении продукта в различных отраслях. Проведена диагностика ценовых трендов, выполнен прогноз спроса до 2030 г., а также дана оценка структуры потребления БН. Кроме того, рассмотрены основные технологии получения БН, которые могут быть использованы для создания новых производ-

ственных линий в России.

Динамика потребления бензоата натрия в 2019–2024 гг.

Промышленное производство БН в России отсутствует. Потребности в БН внутри страны полностью удовлетворяются за счет импорта. Развитие сфер потребления БН, прежде всего в пищевой промышленности, предопределяет рост спроса на данный продукт, поэтому импорт БН в Россию развивается по восходящему тренду: за период 2022–2023 гг. закупки возросли в натуральном выражении на 8,77 %, по

Таблица 1. Численность работников структурных подразделений, находящихся в группе риска

Направление использования	2022	2023	2024 (1 кв-л)
Пищевая промышленность	79,5	85,2	74,4
Парфюмерно-косметическая промышленность	9,9	6,1	15,0
Бытовая химия	4,7	4,7	0
Прочее	3,1	2,6	1,7
Целлюлозно-бумажная промышленность	1,0	0	6,5
Косметические продукты	0,8	0,4	2,4
Производство комбикормов	0,0	0,6	0,0
Красители	0	0,4	0

стоимостному показателю – уменьшились на 5,46 %, что связано со снижением импортной цены БН (с 1 651 долл./т до 1 305 долл./т). Динамика импорта бензоата натрия в 2019–2024 гг. приведена на рис. 1 и 2.

Основными импортерами БН являются китайские компании (96,4 % в 2023 г.). За период 2022–2023 гг. закупки Россией БН в Китае выросли на 12,78 % и составили в 2023 г. 4 217 т.

Анализ структуры потребления БН показывает, что доминирующим сектором спроса на этот продукт является пищевая промышленность, составляя около 80 % от всего потребления (табл. 1).

В пищевой промышленности около 40 % БН используется в качестве консерванта (пищевой добавки E211), в производстве мясных и рыбных изделий – от 8 % до 12 %, доля парфюмерно-косметической промышленности в структуре потребления БН составляет от 6 % до 10 % от общего объема его потребления.

Среднеимпортные цены на БН изменялись в анализируемый период с 1 651 долл./т до 1 305 долл./т. Усредненная ценовая цепочка получения БН выглядит следующим образом (тыс. руб./т) толуол (82) → БК (114) → БН (139).

Технологические аспекты производства бензоата натрия

Существуют два основных метода получения БН:

1) омыление БК в растворе щелочным агентом с последующим упариванием досуха;

2) использование в качестве реагента метилового эфира бензойной кислоты (метилбензоата).

Преимуществами первого метода являются: простота реализации и высокая степень очистки продукта, но недостаток его заключается в том, что он требует значительных затрат энергии на упаривание раствора. В качестве примера можно привести способ получения чистого БН из технической БК путем растворения БК в CCl_4 (50 г/л), фильтрации, омыления карбонатом или бикарбонатом натрия с последующим упариванием досуха. При стехиометрическом соотношении между бензойной кислотой и нейтрализующим агентом получают целевой продукт с содержанием основного вещества от 99,96 % до 99,8 % [3].

Преимущество второго способа производства БН – это возможность получения высокоочищенного продукта без необходимости длительного упаривания, однако для синтеза требуется более сложная технологическая цепочка и более дорогие реагенты. Другие методы получения БН описаны в статье [4].

Выбор метода зависит от масштабов производства, доступности сырья и требований к качеству конечного продукта. В условиях российской промышленности наиболее перспективным представляется первый метод, так как он позволяет эффективно использовать имеющиеся производственные мощности.

Таблица 2. Прогноз темпов роста спроса на БН на период до 2030 г. по сферам использования, %

Направление использования	Темп роста, %	
	2026 к 2022	2030 к 2022
Всего	102	129
Пищевая промышленность	98	121
Парфюмерно-косметическая промышленность	138	198
Бытовая химия	112	154
Целлюлозно-бумажная промышленность	108	154
Прочее	105	166

Таблица 3. Оценка спроса на БН на период до 2030 г. по сферам использования, т

Направление использования	2023 факт.	2024 ожид.	Прогноз (базовый вариант)		
			2025	2026	2030
Всего	4 411,8	3 924,0	4 184,7	4 484,6	5 687,8
Пищевая промышленность	3 732,6	3 235,2	3 439,1	3 664,9	4 507,1
Парфюмерно-косметическая промышленность	265,7	312,4	343,2	368,0	524,8
Бытовая химия	219,9	206,0	222,2	247,3	338,9
Целлюлозно-бумажная промышленность	38,0	38,0	39,6	41,1	58,4
Прочее	155,6	132,4	140,6	163,3	258,6

Динамика потребления бензоата натрия до 2030 г.

Проведенное исследование существующей динамики потребления БН позволило сделать прогноз потребления БН в России в период до 2030 г.

Основной сферой потребления бензоата натрия является пищевая промышленность, где он используется в качестве пищевой добавки, то есть является сырьевой компонентой, и спрос на него определяется спросом на пищевую продукцию.

В последние годы спрос на продукцию отраслей, вырабатывающих социально значимые пищевые продукты (молочная, мясная, рыбная, кондитерская, крупяная и масложировая отрасли), имеет устойчивый характер. В соответствии с проектом Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской

ской Федерации на период до 2030 г. прирост производства пищевой продукции составит от 3 % до 5 % в год. С учетом ожидаемых темпов развития отраслей-потребителей БН суммарный спрос на него к 2026 г. может вырасти до 4 485 т, к 2030 г. – до 5 670 т, что на 3 % и 30 % выше уровня 2023 г. соответственно.

В табл. 2 приведена оценка темпов роста спроса на БН на основе прогнозируемых темпов развития сфер его потребления.

Прогнозная оценка спроса на БН среди основных сфер его потребления на период до 2030 г. приведена в табл. 3.

Прогнозируемые тенденции потребления БН в России не внесут существенных изменений: доминирующей сферой потребления останется пищевая промышленность (табл. 4).

Для удовлетворения спроса на БН со сто-

Таблица 4. Прогнозная оценка структуры потребления БН на период до 2030 г. по сферам использования, %

Направление использования	2023	2024	2025	2026	2030
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Пищевая промышленность	84,6	82,4	82,2	81,7	79,2
Парфюмерно-косметическая промышленность	6,0	8,0	8,2	8,2	9,2
Бытовая химия	5,0	5,2	5,3	5,5	6,0
Целлюлозно-бумажная промышленность	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0
Прочее	3,5	3,4	3,4	3,6	4,5

Таблица 5. Прогноз среднегодовых импортных цен РФ на БН до 2030 г., долл./кг (базис – морской порт Китая, без НДС, без пошлины)

	2022 факт	2023 прогноз	2024 прогноз	2025 прогноз	2026 прогноз	2030 прогноз
Бензоат натрия	1,65	1,31	1,25	1,27	1,30	1,40
Темпы, %		79,4 %	95,4 %	101,9 %	101,9 %	108,2 %

роны внутренних потребителей в 2030 г. потребуется закупить по импорту до 5 700 т этого продукта, что на 2 300 т или на 30 % выше уровня 2023 г.

В настоящее время основными поставщиками БН в РФ являются китайские компании. Китайская фирма *Wuhan Youji Industries Co. Ltd.*, проявившая активность в период 2019–2023 гг. и поставившая в 2023 г. более 70 % общего объема импорта, сохранит и, вполне вероятно, укрепит свое лидерство. Рост спроса на БН и общемировая тенденция удорожания химической продукции предопределяют продолжение роста внешнеторговых цен на этот продукт, при этом уровень цен будет определяться чистотой продукта, направлением его использования и объемами поставок (чем меньше объем поставки, тем выше цена).

В табл. 5 приведена оценка уровней среднегодовых импортных цен на БН, выполненная с учетом роста спроса на этот продукт и темпов роста цен в ретропериод.

Согласно оценке, к 2030 г. среднегодовая импортная цена на бензоат натрия возрастет относительно уровня 2024 г. на 12 %, до 1,4 долл./кг.

Заключение

Проведенное в данной статье исследование позволяет сделать следующие основные выводы.

Рост спроса на БН и общемировая тенденция удорожания химической продукции предопределяют продолжение роста цен на этот продукт, при этом уровень цен будет определяться чистотой продукта, направлением его использования и объемами поставок.

Ожидаемый рост спроса на БН, особенно со стороны такой социально значимой отрасли, как пищевая промышленность, а также сформировавшийся тренд повышения цен на этот продукт, свидетельствуют о перспективности производства БН и дают основание рекомендовать этот продукт для создания отечественного импортозамещающего производства.

Проведенный в статье комплексный анализ текущего состояния и перспектив организации производства БН в России является важным шагом для обеспечения химической безопасности страны и минимизации внешнеэкономических рисков. Результаты исследования способствуют формированию научно обоснован-

ных рекомендаций для развития химической промышленности страны и обеспечению технологической независимости в сфере высокотехнологичных химических продуктов.

Список литературы

1. Князев, М.Ю. Состояние и перспективы организации производства импортозамещающей продукции и цепей ее поставок на примере анализа рынка бензойной кислоты / М.Ю. Князев // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 3(165).
2. Ukpaka, C.P. Performance Evaluation of Batch Reactor for Sodium Benzoate Production / C.P. Ukpaka // Discovery. – 2018. – Vol. 54(274). – P. 387–386.
3. Способ получения чистого бензоата натрия: пат. СССР 414784. МПК СО7С 51/52, СО7С 63/08. Хамс Лео Хюльсманн, Густав Ренкхафф. Динамит Нобель АГ, опубл. 05.02.1974, БИ № 5.
4. Ukpaka, C.P. Reactors functional parameters for sodium benzoate production: A comparative study / C.P. Ukpaka // Chemistry International. – 2019. – Vol. 5(2). – P. 143–157.

References

1. Knyazev, M.YU. Sostoyaniye i perspektivy organizatsii proizvodstva importozameshchayushchey produktsii i tsepey yeye postavok na primere analiza rynka benzoynoy kisloty / M.YU. Knyazev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 3(165).
2. Ukpaka, C.P. Performance Evaluation of Batch Reactor for Sodium Benzoate Production / C.P. Ukpaka // Discovery. – 2018. – Vol. 54(274). – P. 387–386.
3. Sposob polucheniya chistogo benzoata natriya: pat. SSSR 414784. MPK SO7S 51/52, SO7S 63/08. Khams Leo Khyul'smann, Gustav Renkkhaff. Dinamit Nobel' AG, opubl. 05.02.1974, BI № 5.

© М.Ю. Князев, 2025

УДК 658.562

М.А. НАЗАРЕНКО, С.А. НАЗАРОВ

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

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: анализ; качество продукции; моделирование; оптимизация; процессы проектирования; электронная промышленность.

Аннотация. Цель исследования – разработать методы анализа и оптимизации процессов проектирования в электронной промышленности, направленные на повышение качества продукции. Методы исследования: анализ, систематизация, моделирование, экспертные оценки, прогнозирование. Результаты исследования: предложены методы анализа и оптимизации процессов проектирования, позволяющие повысить качество продукции за счет минимизации ошибок и улучшения управляемости процессов.

Современная электронная промышленность сталкивается с растущими требованиями к качеству продукции, что обусловлено увеличением сложности проектирования и производства электронных устройств. Высокочастотные каналы передачи данных, миниатюризация компонентов и использование беспроводных технологий требуют более тщательного подхода к процессам проектирования. В таких условиях актуальной задачей становится разработка методов анализа и оптимизации процессов проектирования, которые позволят минимизировать ошибки, сократить время разработки и повысить качество конечной продукции [1; 2].

Анализ процессов проектирования в электронной промышленности

Процесс проектирования в электронной промышленности включает несколько ключевых этапов.

1. Разработка схмотехнических решений (Т1) – создание электрических схем с после-

дующей трассировкой печатных плат.

2. Разработка программного обеспечения (Т2) – создание программного кода для управления устройством.

3. Разработка конструктивных решений (Т3) – проектирование корпуса и механических компонентов.

4. Производство опытного образца и его отладка (Т4) – изготовление и тестирование прототипа.

5. Выпуск конструкторской документации (Т5) – оформление документации для серийного производства.

Каждый из этих этапов требует тщательного анализа, так как ошибки на любом из них могут привести к значительным затратам на доработку и к снижению качества продукции.

Методы анализа процессов проектирования

Для анализа процессов проектирования предлагается использовать следующие методы.

1. Функциональное моделирование.

Функциональное моделирование позволяет визуализировать процессы проектирования и выявить узкие места. Использование методологии *Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)* позволяет описать процессы в виде блок-схем, что упрощает анализ взаимодействия между этапами [3].

2. Квалиметрические оценки.

Квалиметрия представляет собой научную дисциплину, занимающуюся количественной оценкой качества. Она позволяет измерять и анализировать различные аспекты качества продукции, что дает возможность объективно оценить эффективность процессов проектирования и производства, а также выявить направления для улучшений. Применение квалиметрических методов позволяет оценить качество

каждого этапа проектирования и выявить наиболее проблемные участки. Для этого используется матрица коэффициентов, отражающих влияние каждого этапа на конечное качество продукции [4].

Анализ рисков

Анализ рисков является важным инструментом для выявления потенциальных проблем уже на начальных этапах проектирования. Этот подход позволяет заранее определить возможные слабые места в процессе разработки и принять меры для их устранения, что способствует снижению вероятности возникновения ошибок и повышению качества конечной продукции. Метод *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* используется для оценки вероятности возникновения ошибок и их влияния на качество продукции [5].

Методы оптимизации процессов проектирования

На основе проведенного анализа предлагаются следующие методы оптимизации процессов проектирования, которые направлены на повышение качества продукции, сокращение времени разработки и минимизацию ошибок.

1. Автоматизация процессов проектирования.

Использование систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет сократить время разработки и минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором. Современные САПР обладают возможностью интеграции с PLM-системами (*Product Lifecycle Management*), что позволяет эффективно управлять жизненным циклом продукции на всех этапах – от проектирования до вывода изделия из эксплуатации [6].

2. Параллельное проектирование.

Параллельное выполнение этапов проектирования позволяет сократить общее время разработки. Например, разработка программного обеспечения может начинаться параллельно с разработкой схемотехнических решений, что ускоряет процесс создания опытного образца [7].

3. Использование цифровых двойников.

Цифровые двойники – это виртуальные копии физических устройств, которые позволяют проводить тестирование и отладку на этапе

проектирования. Это снижает количество ошибок, выявляемых на этапе производства опытного образца [8].

Практическое применение методов анализа и оптимизации

Для проверки эффективности предложенных методов анализа и оптимизации процессов проектирования был проведен эксперимент на четырех предприятиях электронной промышленности. Цель эксперимента заключалась в оценке влияния внедрения квалитетических оценок, функционального моделирования и цифровых двойников на качество продукции и скорость разработки.

Описание эксперимента

Эксперимент проводился в течение шести месяцев на предприятиях, специализирующихся на производстве электронных устройств различной сложности: от бытовой электроники до специализированного оборудования для аэрокосмической отрасли. В рамках эксперимента были выделены две группы проектов.

1. Контрольная группа: проекты, разрабатываемые по традиционным методам без использования предложенных методов анализа и оптимизации.

2. Экспериментальная группа: проекты, в которых применялись квалитетические оценки, функциональное моделирование и цифровые двойники.

Методика проведения эксперимента

Квалитетические оценки: для каждого этапа проектирования (T1–T5) были определены ключевые показатели качества (КПК), такие как точность трассировки печатных плат, соответствие программного обеспечения техническому заданию, надежность конструктивных решений и т.д. На основе экспертных оценок и данных, полученных от предприятий, была составлена матрица коэффициентов, отражающих влияние каждого этапа на конечное качество продукции.

Функциональное моделирование: с использованием методологии *IDEFO* были построены функциональные модели процессов проектирования для каждого предприятия. Это позволило

визуализировать взаимодействие между этапами и выявить узкие места, такие как задержки в передаче данных между отделами или дублирование функций.

Цифровые двойники: для проектов экспериментальной группы были созданы цифровые двойники, которые использовались для тестирования и отладки на этапе проектирования. Это позволило выявить и устранить ошибки до изготовления опытного образца.

Результаты эксперимента

Сокращение времени разработки: в экспериментальной группе время разработки сократилось в среднем на 15 % по сравнению с контрольной группой. Это стало возможным благодаря параллельному выполнению этапов проектирования и использованию цифровых двойников, которые позволили сократить время на тестирование и отладку.

Уменьшение количества ошибок: количество ошибок, выявленных на этапе производства опытного образца, снизилось на 20 %. Это связано с использованием квалитетических оценок, позволивших выявить потенциальные проблемы на ранних этапах проектирования и функционального моделирования, которое помогло оптимизировать взаимодействие между отделами.

Повышение качества продукции: качество продукции в экспериментальной группе улучшилось на 25 % по сравнению с контрольной группой. Это было достигнуто за счет более тщательного анализа и оптимизации процессов проектирования, а также использова-

ния цифровых двойников для тестирования и отладки.

Анализ результатов

Результаты эксперимента подтвердили эффективность предложенных методов анализа и оптимизации процессов проектирования. Квалитетические оценки позволили выявить наиболее проблемные этапы проектирования и сосредоточить усилия на их улучшении. Функциональное моделирование помогло оптимизировать взаимодействие между отделами и сократить время передачи данных. Цифровые двойники обеспечили возможность тестирования и отладки на этапе проектирования, что помогло минимизировать количество ошибок на этапе производства.

Заключение

Предложенные методы анализа и оптимизации процессов проектирования доказали свою эффективность в повышении качества продукции. Благодаря минимизации ошибок на всех этапах разработки и улучшению управляемости процессов удалось достичь значительных результатов. Эти подходы позволяют не только сократить время проектирования, но и обеспечить более высокую надежность и соответствие продукции установленным стандартам. Внедрение данных методов в практику предприятий электронной промышленности способствует повышению конкурентоспособности и удовлетворению растущих требований рынка.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М., 2015. – 24 с.
2. Назаренко, М.А. Метод оценки этапов жизненного цикла при проектировании цифровой продукции с целью обеспечения качества / М.А. Назаренко, С.А. Назаров // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 3(153). – С. 77–81.
3. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – М., 2003.
4. Сидорин, В.В. Управление конфигурацией в процессах проектирования и разработки наукоемкой высокотехнологичной продукции / В.В. Сидорин, Н.Б. Халилюлина // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 10-2. – С. 260–266.
5. Антонов, А.В. Метод и методика менеджмента критически значимых рисков / А.В. Антонов, В.В. Сидорин // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 9. – С. 9–23.
6. Зеленцова, Л.С. Цифровые аспекты управления интерактивным проектированием высокотехнологичной продукции / Л.С. Зеленцова // Цифровая трансформация промышленности: новые горизонты: Сборник научных трудов по материалам 3-й Всероссийской научно-практической кон-

ференции, 2022. – С. 179–181.

7. Рябчиков, П.В. Совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции на основе создания систем технологического обеспечения надежности продукции / П.В. Рябчиков, М.А. Назаренко // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2023. – № 2(158). – С. 51–55.

8. Назаренко, М.А. Актуальные вопросы управления качеством с применением CALS-технологий для создания производственной модели Индустрии 4.0 / М.А. Назаренко, Ю.В. Круглова // Технология машиностроения. – 2022. – № 10. – С. 54–60.

References

1. GOST R ISO 9001-2015 Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya. – M., 2015. – 24 s.
2. Nazarenko, M.A. Metod otsenki etapov zhiznennogo tsikla pri proyektirovanii tsifrovoy produktii s tsel'yu obespecheniya kachestva / M.A. Nazarenko, S.A. Nazarov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 3(153). – S. 77–81.
3. R 50.1.028-2001. Informatsionnyye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktii. Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya. – M., 2003.
4. Sidorin, V.V. Upravleniye konfiguratsiyey v protsessakh proyektirovaniya i razrabotki naukoymkoy vysokotekhnologichnoy produktii / V.V. Sidorin, N.B. Khalilyulina // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. – 2022. – № 10-2. – S. 260–266.
5. Antonov, A.V. Metod i metodika menedzhmenta kriticheski znachimyykh riskov / A.V. Antonov, V.V. Sidorin // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. – 2021. – № 9. – S. 9–23.
6. Zelentsova, L.S. Tsifrovyye aspekty upravleniya interaktivnym proyektirovaniyem vysokotekhnologichnoy produktii / L.S. Zelentsova // Tsifrovaya transformatsiya promyshlennosti: novyye gorizonty: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 3-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2022. – S. 179–181.
7. Ryabchikov, P.V. Sovershenstvovaniye nauchnykh instrumentov otsenki, monitoringa i prognozirovaniya kachestva produktii na osnove sozdaniya sistem tekhnologicheskogo obespecheniya nadezhnosti produktii / P.V. Ryabchikov, M.A. Nazarenko // Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. – 2023. – № 2(158). – S. 51–55.
8. Nazarenko, M.A. Aktual'nyye voprosy upravleniya kachestvom s primeneniym CALS-tekhnologiy dlya sozdaniya proizvodstvennoy modeli Industrii 4.0 / M.A. Nazarenko, YU.V. Kruglova // Tekhnologiya mashinostroyeniya. – 2022. – № 10. – S. 54–60.

© М.А. Назаренко, С.А. Назаров, 2025

УДК 658.512+519.8+658.52

Е.А. ФРОЛОВА, П.С. ЗАЙЦЕВ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭТАПА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: автоматизация; линия автоматического монтажа печатных плат; обеспечение качества; печатные платы; предпроизводственные процессы; радиоэлектронная продукция; цифровизация; САМ-системы; DFM-анализ.

Аннотация. В статье представлены методики автоматизации предпроизводственных процессов жизненного цикла радиоэлектронной продукции. Цель исследования – снижение времени проведения DFM-анализа и корректировок топологии печатных плат, а также обеспечение качества процессов жизненного цикла радиоэлектронной продукции. Гипотеза исследования: применение методики позволит сократить срок анализа и корректировки топологии и обеспечить качество процессов. Методы исследования: DFM-анализ, функции САМ350. Результаты исследования: снижено время проведения предпроизводственных процессов, а также количество несоответствий при анализе и корректировке топологии.

Введение

В работе [1] описывается ситуация на рынке электронной компонентной базы (ЭКБ) в условиях современных воздействующих факторов. Анализируя спрос и предложение на рынке ЭКБ, можно сделать вывод о нестабильном положении дел с отдельными наименованиями компонентов. Динамично меняющаяся ситуация с доступностью ЭКБ приводит к необходимости оперативного внесения изменений в

конструкторскую документацию (КД) изделий, что, в свою очередь, инициирует операции по переналадке производства радиоэлектронной продукции (РЭП). В настоящей статье будут предложены модифицированные методики автоматизации отдельных этапов DFM-анализа [2] печатных плат, описанных в работе [3].

Цель статьи – снижение трудоемкости и экономических затрат предпроизводственных процессов жизненного цикла РЭП на основе разработки методик автоматизации трудноформализуемых процессов.

В настоящей статье предлагается алгоритм автоматизации проверки отступов от неметаллизированных отверстий, рекомендованный в работе [3]. Программное исполнение данного алгоритма возможно в виде макроса на языке VBA, интегрированного в программном обеспечении САМ350, используемого для предпроизводственной подготовки. При условии корректно выполненных конструкторских работ и вывода gerber-файлов алгоритм будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Алгоритм, представленный на рис. 1, позволяет автоматизировать проверку на отступы от неметаллизированных отверстий. В случае если в ходе проверки в композитных слоях не удаляются важные участки цепи, а вносятся только «косметические» правки в виде, например, создания отступа от растрового полигона, слой можно принять за основной, удалив при этом исходный. Таким образом, в частных случаях алгоритм не автоматизирует процесс, а полностью исключает действия со стороны лица, принимающего решения (ЛПР).

Аналогичным образом, используя композитные слои, возможно выполнить автомати-

Вход процесса: слои топологии, координаты и параметры отверстий в формате gerber

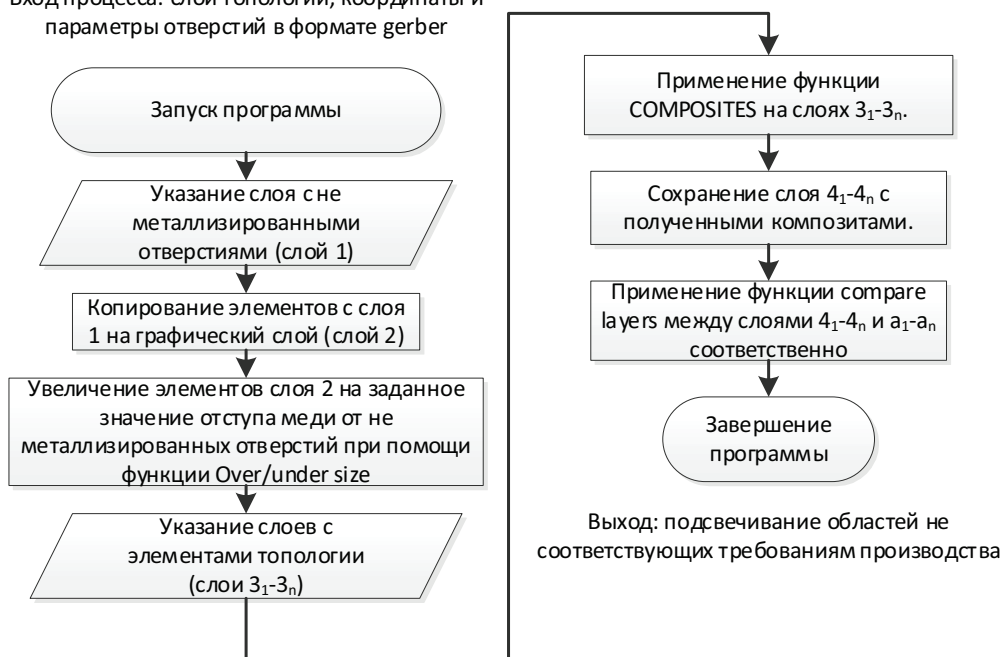


Рис. 1. Алгоритм проверки отступов от неметаллизированных отверстий

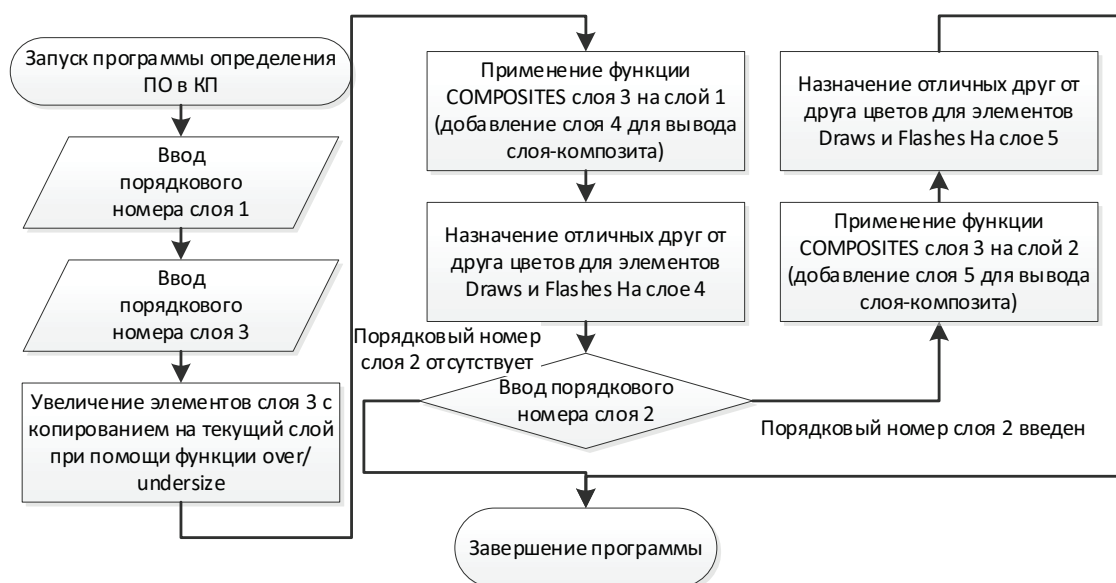


Рис. 2. Алгоритм автоматической проверки наличия ПО в КП

зированную проверку на наличие переходных отверстий (ПО) в контактных площадках (КП). Однако в данном случае от ЛПР потребуются внесение некоторых изменений в слои топологии, прежде чем запускать алгоритм проверки.

Для подготовки алгоритма проверки на на-

личие ПО в КП ЛПР необходимо определить слои, на которые устанавливаются планарные компоненты: верхний слой топологии (TOP), нижний слой топологии (Bottom). Дальнейшие действия необходимо провести для каждого слоя топологии, на который будут устанавли-

ваться компоненты (действия приведены для программного обеспечения САМ350).

1. Используя функцию «over/undersize», увеличить все элементы топологии, имеющие тип «flash» на стандартное значение открытия маски 0,1 мм.

2. Удалить с созданного слоя (в зависимости от количества монтируемых сторон печатной платы (ПП): слой 1 и слой 2) все *dcode*, используемые для переходных, монтажных и крепежных отверстий, а также иные элементы, не относящиеся к КП планарных компонентов.

После выполнения указанных действий с топологией необходимо скопировать на новый слой (слой 3), используемый для проверки, все ПО, при этом преобразовав их в графические элементы. После выполнения указанных действий алгоритм автоматического поиска ПО в КП готов к запуску.

В ходе выполнения алгоритма, приведенного на рис. 2, все *flash* элементы, подверженные изменению при применении функции *COMPOSITES*, преобразуются в элементы *draws*. Для элементов *draws* на слоях-композициях программа автоматически назначает отличные от элементов *flash* цвета, что позволяет ЛППР проанализировать необходимость заполнения отверстий с последующей металлизацией для повышения количества выхода годных

изделий после прохождения автоматического монтажа.

Выводы

В статье предложены алгоритмы автоматизации предпроизводственных процессов жизненного цикла РЭП, позволяющие следующее.

1. Обеспечить качество выполняемых процессов.

2. Снизить трудозатраты проведения анализа и корректировки топологии печатных плат, предоставленных в формате *gerber*.

3. Определить потенциальные проблемы при выполнении автоматического монтажа печатных плат путем ранней идентификации ошибок или особенностей конструирования, что позволяет снизить экономические потери при производстве изделий.

Указанные выше преимущества позволяют снизить время технологической подготовки монтажа РЭП в рамках контрактного производства электроники в условиях динамично меняющейся ситуации на рынках ЭКБ. Предложенная методика, как и методика, представленная в работе [5], является одним из этапов внедрения цифровых технологий в жизненный цикл продукта, описанный в статье [4].

Список литературы

1. Лебедев, И. Анализ рынка конденсаторов, резисторов, диодов, реле, индуктивности и микроконтроллеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://commarketru.com/analiz-rynka-kondensatorov-rezistorov-diodov-rele-induktivnosti-i-mikrokontrollerov-v-usloviyah-sankczij>.
2. Rick Almeida Understanding DFM and Its Role in PCB Layout» [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.downstreamtech.com/downloads/UnderstandingDFM.pdf>.
3. Korshunov, G.I. Methods and algorithms of technological preparation for organizing automatic surface mount of printed circuit boards. International scientific conference on applied physics, information technologies and engineering (APITECH-2019) / G.I. Korshunov, P.S. Zaicev, A.A. Petrushevskaya // Journal of Physics Conference Series. Volume: 139 Article number: 033076, 2019.
4. Назаревич, С.А. Бережливая цифровизация организационных систем / С.А. Назаревич, В.А. Тушавин, Е.А. Фролова // Инновационное приборостроение. – 2022. – Т. 1. – № 1. – С. 44–53.
5. Зайцев, П.С. Методика автоматического поиска и обновления БД технологических параметров для обеспечения качества электроники в условиях импортозамещения / П.С. Зайцев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 2(152). – С. 143–148.

References

1. Lebedev, I. Analiz rynka kondensatorov, rezistorov, diodov, rele, induktivnosti i mikrokontrollerov [Electronic resource]. – Access mode : <https://commarketru.com/analiz-rynka-kondensatorov-rezistorov-diodov-rele-induktivnosti-i-mikrokontrollerov-v-usloviyah-sankczij>.

3. Korshunov, G.I. Methods and algorithms of technological preparation for organizing automatic surface mount of printed circuit boards. International scientific conference on applied physics, information technologies and engineering (APITECH-2019) / G.I. Korshunov, P.S. Zaicev, A.A. Petrushevskaya // Journal of Physics Conference Series. Volume: 139 Article number: 033076, 2019.
 4. Nazarevich, S.A. Berezhlivaya tsifrovizatsiya organizatsionnykh sistem / S.A. Nazarevich, V.A. Tushavin, Ye.A. Frolova // Innovatsionnoye priborostroyeniye. – 2022. – T. 1. – № 1. – S. 44–53.
 5. Zaytsev, P.S. Metodika avtomaticheskogo poiska i obnovleniya BD tekhnologicheskikh parametrov dlya obespecheniya kachestva elektroniki v usloviyakh importozameshcheniya / P.S. Zaytsev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 2(152). – S. 143–148.
-

© М.А. Назаренко, С.А. Назаров, 2025

УДК 658.51:66.067

*Л.З. ХАСАНОВА, И.В. МОРЕВА**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева», г. Казань*

АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ключевые слова: анализ рисков; вспомогательное производство; «дерево отказов»; матрица оценки рисков; обслуживание основного производства; организация процесса водоподготовки; оценка риска.

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы организации водоподготовки – одного из важнейших вспомогательных процессов на промышленных предприятиях по производству оптических изделий.

Цель работы – выявление показателей, имеющих наиболее высокий уровень риска при эксплуатации систем очистки воды, используемых на предприятиях по производству оптических изделий, и разработка мероприятий, позволяющих снизить риск возникновения негативных последствий.

Для достижения поставленной цели решался ряд задач, в числе которых построение и анализ «дерева отказов», выявление возможных неисправностей систем очистки, работающих по принципу ионного обмена, оценка рисков, возникающих при эксплуатации оборудования для очистки воды, и разработка мероприятий по снижению вероятности их возникновения.

Гипотеза исследования состоит в том, что реализация превентивных мероприятий и изменение подходов к выбору систем очистки воды позволит организовать процесс водоподготовки с минимальными рисками негативных последствий.

В работе применялся логико-графический метод анализа «дерева отказов». Установлены показатели, имеющие наиболее высокий уровень риска, для минимизации которых предложен комплекс необходимых мероприятий и иной подход к выбору систем очистки воды.

Для обслуживания основного производства и обеспечения бесперебойного выпуска его продукции необходима качественная организация вспомогательных процессов.

Неотъемлемой частью любого промышленного предприятия по производству оптических изделий является система водоснабжения. Водоподготовка относится к числу вспомогательных процессов и имеет для предприятий данного направления существенное значение.

Как правило, для обеспечения хозяйственно-питьевых и технологических нужд предприятия организуют собственную систему водоснабжения, для чего на территории пробуриваются скважины. Большая часть воды расходуется при эксплуатации технологического оборудования, главным образом для подготовки химических реагентов, абсорбентов, растворителей и промывки. Из тех же скважин вода используется и для питьевых нужд.

Качество применяемых подземных вод должно соответствовать требованиям СанПиН 2.1.3684-21 [6]. При этом состав воды должен быть не просто пригодным для применения в технологических процессах предприятия, но и не вызывать коррозию металла, которая приводит к разрушению конструктивных элементов оборудования. Это, в свою очередь, является причиной его преждевременного выхода из строя и негативно сказывается на экономических показателях деятельности предприятия.

Что касается использования добываемой из подземных скважин воды в хозяйственно-питьевых целях, то для доведения ее до требований стандарта [6] также необходима предварительная очистка.

В связи с этим проблема организации процесса водоподготовки на промышленных пред-

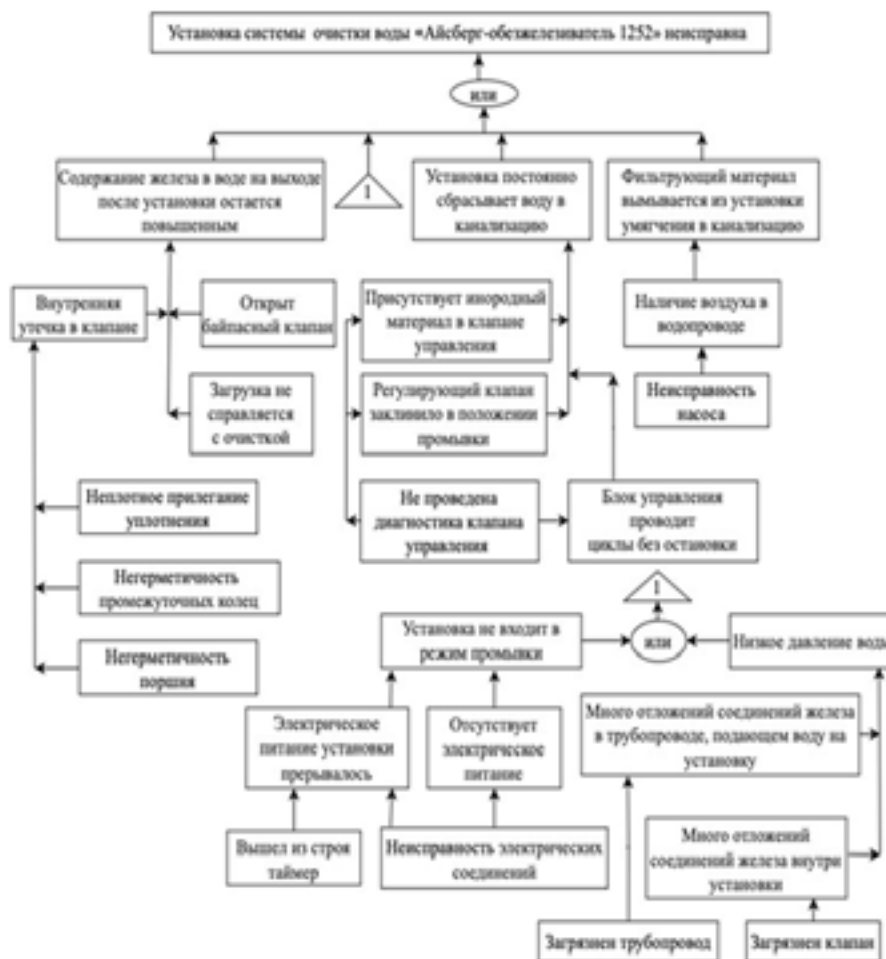


Рис. 1. Возможные неисправности системы очистки «Айсберг-умягчитель 1252»

приятных и оценки риска нежелательных последствий при эксплуатации оборудования для очистки воды являются актуальными.

Традиционная водоподготовка включает в себя две стадии: фильтрование, в процессе которого происходит очистка от грубодисперсных примесей, и глубокая очистка, заключающаяся в коррекции состава воды. В ее основе лежит метод ионного обмена [2]. Он является достаточно популярным ввиду своей простоты и надежности в использовании.

На промышленных предприятиях применяется также и технология очистки воды аэрацией, основанная на интенсивном насыщении воды кислородом. В результате металлы окисляются до нерастворимых оксидов, легко удаляемых с помощью фильтрации.

На основном производстве, где применяются установки с оборотной системой воды, мо-

гут быть установлены автоматические фильтры «Айсберг-умягчитель 1 252» с производительностью 1,5 м³/ч и «Айсберг-универсал В-1054» с производительностью 1–1,7 м³/ч, работающие по принципу ионного обмена.

Для доведения качества воды до требований СанПиН 2.1.3684-21 устанавливаются бытовые многоступенчатые аэрационные установки «Айсберг». Вода из скважин по водоводу поступает в разводящую распределительную сеть водопровода и далее по системе трубопроводов – в производственные и административные корпуса.

При эксплуатации тех или иных систем важную роль играет определение рисков нежелательного негативного исхода. В общем случае под риском понимают возможность наступления некоторого неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода потери [9].

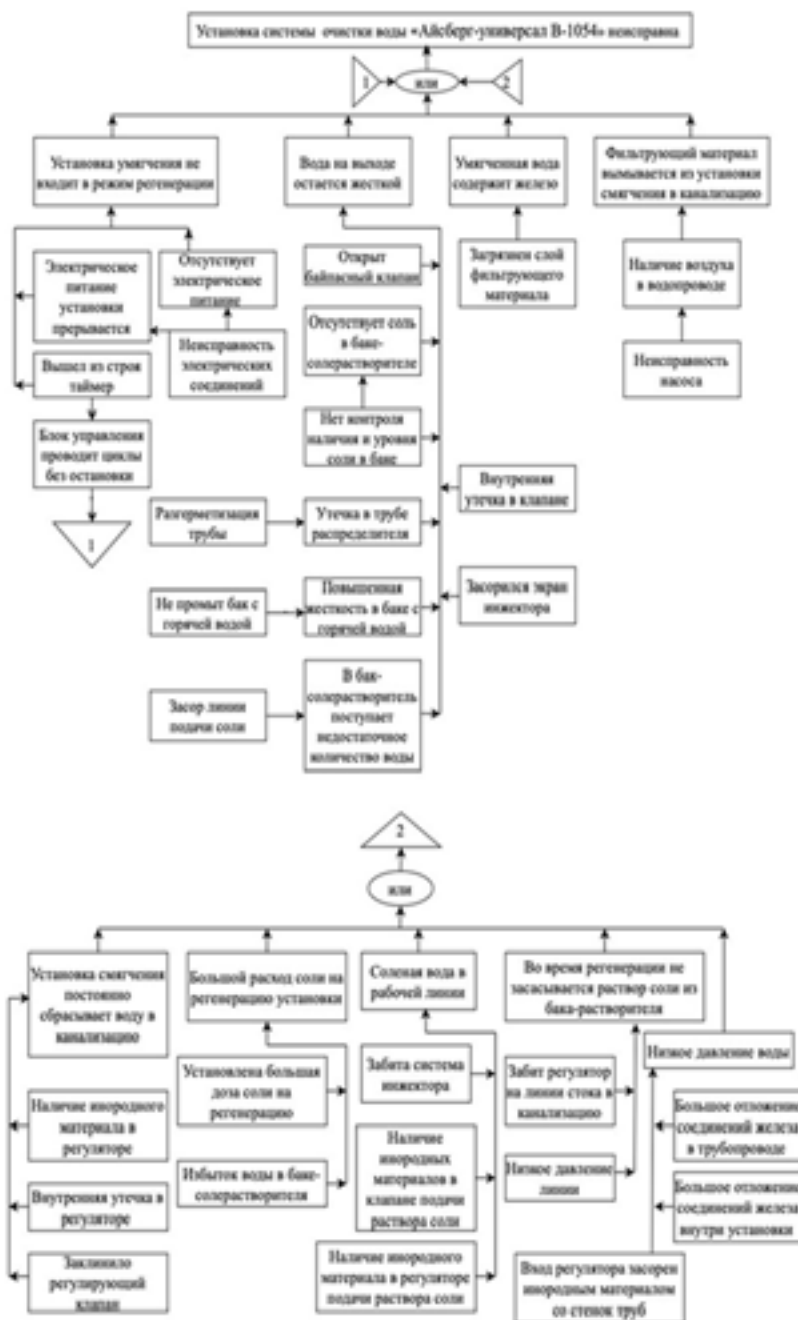


Рис. 2. Возможные неисправности системы очистки «Айсберг-универсал В-1054»

На сегодняшний день управление рисками является одной из ключевых задач деятельности на промышленных предприятиях.

Для оценки рисков, возникающих при эксплуатации систем очистки воды, работающих по принципу ионного обмена, применяли логико-графический метод анализа «дерева отказов» (АДО), рекомендуемый для этих целей российскими нормативно-техническими доку-

ментами [5].

Он основан на выявлении комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних воздействий, приводящих к негативным последствиям (аварийной ситуации).

На рис. 1 и 2 представлены возможные неисправности систем очистки «Айсберг», на основе которых были составлены матрицы оцен-

Таблица 1. Матрица оценки рисков системы очистки «Айсберг-умягчитель 1252»

Наименование риска	Уровень риска			Вероятность возникновения	
	3 причины	2 причины	1 причина	Часто	Редко
	5 баллов	4 балла	3 балла	5 баллов	1 балл
Содержание железа после очистки остается повышенным	5 баллов	125	100	5	–
Установка постоянно сбрасывает воду в канализацию	4 балла	100	60	5	–
Установка не входит в режим промывки	3 балла	15	9	–	1
Низкое давление воды	2 балла	10	6	–	1
Фильтрующий материал вымывается из установки смягчения в канализацию	1 балл	5	3	–	1

Таблица 2. Матрица оценки рисков системы очистки «Айсберг-универсал В-1054»

Наименование риска		Уровень риска				Вероятность возникновения	
		8 причин	3 причины	2 причины	1 причина	Часто	Редко
		5 баллов	4 балла	3 балла	2 балла	5 баллов	1 балл
Вода на выходе остается жесткой	5 баллов	125	100	75	50	5	–
Соленая вода в рабочей линии	5 баллов	125	100	75	50	5	–
Умягченная вода содержит железо	5 баллов	125	100	75	50	5	–
Во время регенерации не засасывается раствор соли из бака растворителя	4 балла	20	16	12	8	–	1
Установка смягчения постоянно сбрасывает воду в канализацию	4 балла	100	80	60	40	5	–
Установка умягчения не входит в режим регенерации	3 балла	15	12	9	6	–	1
Большой расход соли на регенерацию установки	3 балла	15	12	9	6	–	1
Фильтрующий материал вымывается из установки смягчения в канализацию	1 балл	5	4	3	2	–	1
Блок управления проводит циклы без остановки	1 балл	5	4	3	2	–	1

ки рисков (табл. 1 и 2). Они включают в себя рискообразующие факторы, присущие процес-

су очистки воды, и позволяют анализировать риски с различными типами потенциальных последствий.

При построении матриц были использованы следующие показатели: наименование риска (ключевые неисправности систем водоподготовки), уровень риска (причины, приводящие к ключевым неисправностям), вероятность возникновения (предполагаемая вероятность возникновения). Для определения рейтинга значимости риска в матрице объединены характеристики рисков с отражением их последствий и вероятностей возникновения. Показатели матрицы определяются индивидуальными шкалами.

Анализ «дерева отказов» (рис. 1 и 2) позволил выделить основные риски.

Наиболее значимым показателям присвоен максимальный балл, менее значимым – минимальный. Вероятность их возникновения оценивалась в двух значениях: при предполагаемом частом возникновении – максимальный балл, при редком возникновении – минимальный. В точке пересечения отраженных в матрице показателей указывался уровень риска.

По результатам анализа наиболее высокий уровень риска для основного производства имеет такой показатель, как наличие в воде после очистки повышенного содержания железа и солей; это может привести к выходу из строя оборудования, применяемого, например, для шлифовки деталей.

Кроме того, существует высокая вероятность того, что вода такого качества при использовании ее для промывки деталей будет оставлять на них осадок.

Для питьевой воды и воды хозяйственно-бытового назначения высокий уровень риска присвоен показателю повышенной жесткости после ее очистки.

Таким образом, использование в технологических процессах воды с повышенной жесткостью приводит к преждевременному выходу из строя оборудования, а отсутствие качественной питьевой воды для персонала предприятия влечет за собой необходимость ее закупки.

В соответствии с ГОСТ Р 58969-2020 [4] для рисков, имеющих исключительно негативный эффект, могут быть приняты такие стратегии, как снижение риска, принятие риска, передача (разделение) риска или отказ от него (стратегия избегания).

Наиболее целесообразной в рассматриваемом

случае представляется стратегия снижения риска, которая предусматривает разработку мероприятий по снижению вероятности их возникновения.

Для минимизации рисков могут быть предложены следующие мероприятия:

- четкое соблюдение требований руководства по эксплуатации систем очистки;
- контроль загрузки фильтров обезжелезивания;
- периодическая плановая проверка герметичности конструкций систем очистки воды;
- контроль процесса регенерации установок очистки воды;
- организация постоянной системы контроля и анализа качества воды в рамках производственного контроля;
- организация и проведение периодического обучения персонала, обслуживающего установки очистки.

Вместе с тем указанные мероприятия позволяют снизить только часть выявленных рисков, не устранив вероятность наиболее значимых из них.

Для устранения повышенной жесткости воды, а также солей и высокого содержания железа необходимо пересмотреть подходы к выбору систем очистки воды. Так, для установок, работающих по принципу ионного обмена, характерен высокий расход фильтров. Кроме того, как показал анализ таких установок, они не обеспечивают в полной мере необходимых показателей качества воды. Поэтому необходимо рассмотреть установки для очистки воды, работа которых основана на иных принципах.

Одним из применяемых методов очистки является обратный осмос, при котором вода под давлением проходит через полупроницаемую мембрану и очищается от большинства примесей [3]. Степень очистки воды при его использовании составляет, по разным оценкам, от 85 до 99 % [1; 2; 7; 8]. При этом энергетические затраты на работу таких систем минимальны.

Установка водоподготовительной станции, работающей на основе метода обратного осмоса, позволит снизить затраты на реагенты, которые применяются при ионообменном методе, сведет к минимуму риски выхода из строя оборудования и появления дефектов на производимой продукции, а также образования отходов в виде солевых стоков. Кроме того, система водоподготовки соответствующей мощности позволит обеспечить качественной питьевой водой

все подразделения предприятия.

Выводы:

– оценка рисков, выполненная на основе анализа возможных неисправностей систем очистки воды «Айсберг», работающих на принципах ионного обмена, и матриц оценки рисков, показала, что наиболее высокий уровень риска для основного производства предприятия по выпуску оптических изделий имеет такой показатель, как наличие в воде после очистки по-

вышенного содержания железа и солей, а для питьевой воды и воды хозяйственно-бытового назначения – ее повышенная жесткость;

– в соответствии со стратегией снижения риска предложено предусмотреть ряд мероприятий по снижению вероятности их возникновения и изменить подходы к выбору систем очистки воды, рассмотрев возможность замены установок, работающих по принципу ионного обмена, на установки обратного осмоса.

Список литературы

1. Албагачиева, М.М. Анализ методов очистки воды от хлоридов / М.М. Албагачиева, И.Ю. Нагибина // Безопасность городской среды: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Омск, 18–20 ноября 2020 года. – Омск : Омский государственный технический университет, 2021. – С. 291–294.
2. Брагин Д.М. Современные методы водоподготовки: ионный обмен и обратный осмос / Д.М. Брагин, К.А. Суханова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Н.И. Данилова (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 10–14 декабря 2018 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2018. – С. 117–120.
3. Володина, А.В. Водоподготовка в энергетике: решения традиционные и современные / А.В. Володина // Главный энергетик. – 2016. – № 5. – С. 61–65.
4. ГОСТ Р 58969-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Управление технико-производственными рисками промышленного предприятия. – М. : Стандартинформ, 2020. – 12 с.
5. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01). Серия 03. Выпуск 10 / Колл. авт. – М. : Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 40 с.
6. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Утв. пост. Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376166/d46bb4ace56674ca6db0882f108e864d328f231d.
7. Сауткина, Т.Н. Обзор безреагентных методов очистки воды / Т.Н. Сауткина, Е.В. Чеснокова, А.Ю. Рогаткин // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2019. – № 4(37). – С. 239–242.
8. Скворцов, С.А. Обратный осмос и ионный обмен в комбинированной системе водоподготовки котельных / С.А. Скворцов, А.В. Прохоров // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей международной научно-практической конференции, Пенза, 23 октября 2016 года. – Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2016. – С. 26–28.
9. Фисун, Е.В. Управление рисками: учеб. пособие / Е.В. Фисун, В.К. Федотова; Забайкал. гос. ун-т. – Чита : ЗабГУ, 2018. – 128 с.

References

1. Albagachiyeva, M.M. Analiz metodov ochistki vody ot khloridov/ M.M. Albagachiyeva, I.YU. Nagibina // Bezopasnost' gorodskoy sredy: Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-

prakticheskoy konferentsii, Omsk, 18–20 noyabrya 2020 goda. – Omsk : Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2021. – S. 291–294.

2. Bragin D.M. Sovremennyye metody vodopodgotovki: ionnyy obmen i obratnyy osmos / D.M. Bragin, K.A. Sukhanova // *Energo- i resursosberezheniye. Energoobespecheniye. Netraditsionnyye i vozobnovlyayemye istochniki energii. Atomnaya energetika: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati professora N.I. Danilova (1945–2015) – Danilovskikh chteniy (Yekaterinburg, 10–14 dekabrya 2018 g.)*. – Yekaterinburg : UrFU, 2018. – S. 117–120.

3. Volodina, A.V. Vodopodgotovka v energetike: resheniya traditsionnyye i sovremennyye / A.V. Volodina // *Glavnyy energetik*. – 2016. – № 5. – S. 61–65.

4. GOST R 58969-2020. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Menedzhment riska. Upravleniye tekhniko-proizvodstvennymi riskami promyshlennogo predpriyatiya. – M. : Standartinform, 2020. – 12 s.

5. Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu analiza riska opasnykh proizvodstvennykh ob'yektov (RD 03-418-01). Seriya 03. Vypusk 10 /Koll. avt. – M. : Zakrytoye aktsionernoye obshchestvo «Nauchno-tekhnicheskiiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2010. – 40 s.

6. Sanitarnyye pravila i normy SanPiN 2.1.3684-21 «Sanitarno-epidemiologicheskkiye trebovaniya k sodержaniyu territoriy gorodskikh i sel'skikh poseleniy, k vodnym ob'yektam, pit'yevoy vode i pit'yevomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozdukhу, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy». Utv. post. Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiyskoy Federatsii ot 28 yanvarya 2021 g. № 3 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376166/d46bb4ace56674ca6db0882f108e864d328f231d.

7. Sautkina, T.N. Obzor bezreagentnykh metodov ochistki vody / T.N. Sautkina, Ye.V. Chesnokova, A.YU. Rogatkin // *Tekhnicheskoye regulirovaniye v transportnom stroitel'stve*. – 2019. – № 4(37). – S. 239–242.

8. Skvortsov, S.A. Obratnyy osmos i ionnyy obmen v kombinirovannoy sisteme vodopodgotovki kotel'nykh / S.A. Skvortsov, A.V. Prokhorov // *Sovremennyye tekhnologii: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii : sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Penza, 23 oktyabrya 2016 goda. – Penza : Nauka i Prosveshcheniye (IP Gulyayev G.YU.), 2016. – S. 26–28.

9. Fisun, Ye.V. Upravleniye riskami: ucheb. posobiye / Ye.V. Fisun, V.K. Fedotova; Zabaykal. gos. un-t. – Chita : ZabGU, 2018. – 128 s.

© Л.З. Хасанова, И.В. Морева, 2025

УДК 330.4

В.М. НИКОНОВ

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

ДИАБЕТ И РАСХОДЫ НА ПИТАНИЕ

Ключевые слова: авторегрессия; выбросы остатков; гауссовский шум; дефлятор; темп прироста; число больных диабетом.

Аннотация. Цель статьи – исследовать зависимость числа больных диабетом от расходов на питание. Задачи: собрать достоверную статистику по расходам на питание и числу больных диабетом; оценить связь между числом больных диабетом и расходами на питание; дать прогноз динамики числа больных диабетом. Методы: перевод номинальных значений в реальные, метод Бокса – Дженкинса. В результате был получен вид связи между числом диабетиков и расходами на питание.

Актуальность исследования

В соответствии с Конституцией РФ каждый гражданин имеет право на охрану здоровья [1]. Одно из ключевых направлений социальной политики – обеспечение конституционных прав граждан страны [2]. Повышение продолжительности жизни и качества жизни, снижение числа заболеваний населения являются приоритетами в области дальнейшего развития государства. Выявление факторов, влияющих на основные заболевания, позволит реализовать меры по минимизации негативного воздействия этих факторов.

Объект исследования – заболеваемость населения РФ диабетом.

Предмет исследования – выявление связи между расходами на потребление и числом заболеваний диабетом.

Цель исследования – построить математическую модель числа заболеваний диабетом.

Методы: перевод номинальных значений в реальные, метод Бокса – Дженкинса.

В табл. 1 приведены реальные расходы на питание и число больных диабетом в РФ [3–10].

Среднегодовой темп прироста числа больных диабетом за период 2004–2022 гг. составляет 2,87 %.

Реальные расходы на питание за период 2004–2022 гг. росли со скоростью 0,99 % в год.

Для дефлирования применили индекс потребительских цен.

Между числом больных диабетом и расходами на питание зависимость близка к линейной (рис. 1).

Если рассмотреть зависимость между числом больных диабетом и реальными расходами на питание за 2004–2022 гг., то линейность исчезает (рис. 2).

Оценим прогноз числа больных диабетом.

Для проверки гипотезы «наличие единичного корня» во временном ряде «число больных диабетом» применим расширенный тест Дики – Фуллера. Исходный временной ряд нестационарный.

Рассмотрим квадрат переменной ряда.

Модель без константы $p = 0,04094$.

Для исследования применим временной ряд из квадратов $(d)^2$.

В качестве оптимальной спецификации модели *ARIMA* применим спецификацию $AR = 1$, $I = 0$, $MA = 1$ (табл. 2).

Оценки значимы на 1 % уровне.

Рассмотрим коррелограммы остатков модели (рис. 3).

Предложенную модель можно считать удовлетворительной, на рис. 3 нет выбросов за границы.

Предложена математическая модель динамики числа диабетиков (1):

$$(\hat{d}_t)^2 = 0,997(d_{t-1})^2 + 0,735\varepsilon_{t-1}, \quad (1)$$

где $\hat{d}_t$ – прогнозируемое число диабетиков в РФ за период t ; d_{t-1} – фактическое число диабетиков в РФ за период $(t - 1)$.

Модель (1) можно применять для прогноза

Таблица 1. Расходы на питание и число больных диабетом за 2004–2022 гг. (составлено автором по данным Госкомстата)

№	Год	Число больных диабетом, тыс. чел.	Расходы на питание, руб./мес.	ИПЦ, i	К дефлирования	Реальные расходы на питание, руб./мес.
1	2004	2 387,1	1 537,6	0,117	1,117	1 377
2	2005	2 518,4	1 765,0	0,109	1,239	1 425
3	2006	2 684,2	1 984,1	0,090	1,350	1 469
4	2007	2 854,1	2 321,1	0,119	1,511	1 536
5	2008	3 029,4	2 947,1	0,133	1,712	1 722
6	2009	3 178,9	3 276,1	0,088	1,863	1 759
7	2010	3 378,0	3 714,7	0,088	2,026	1 833
8	2011	3 592,4	4 078,1	0,061	2,150	1 897
9	2012	3 756,6	4 375,1	0,066	2,292	1 909
10	2013	3 941,0	4 694,9	0,065	2,441	1 923
11	2014	4 174,8	5 111,9	0,114	2,719	1 880
12	2015	4 418,3	5 708,7	0,129	3,070	1 860
13	2016	4 610,8	6 220,7	0,054	3,236	1 923
14	2017	4 743,6	6 250,0	0,025	3,317	1 884
15	2018	4 880,6	6 352,4	0,043	3,459	1 836
16	2019	5 110,1	6 824,6	0,030	3,563	1 915
17	2020	5 106,5	7 101,9	0,049	3,738	1 900
18	2021	5 168,9	7 173,4	0,084	4,052	1 771
19	2022	5 277,6	8 214,0	0,119	4,534	1 812
20	Темп пр.	2,87 %	6,17 %			0,99 %

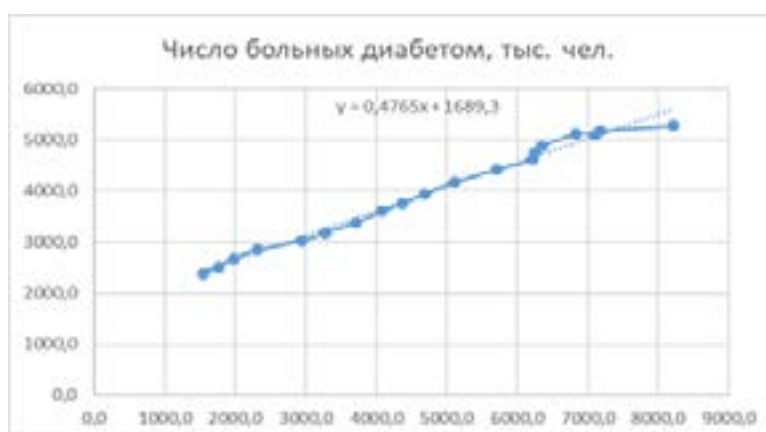


Рис. 1. Зависимость между числом больных диабетом и номинальными расходами на питание за 2004–2022 гг.

числа больных диабетом. Построим прогноз d на 2022–2030 гг. (рис. 4).

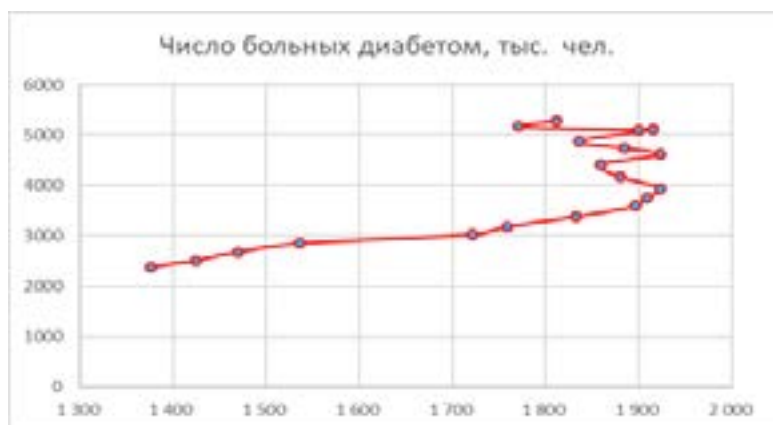


Рис. 2. Зависимость между числом больных диабетом и реальными расходами на питание за 2004–2022 гг.

Таблица 1. Значимость оценок модели

№	Элемент модели	Значение	Ст. ошибка	z	Значение P	Значимость
1	ϕ_1	0,997	0,004	247,6	0,0000	***
2	θ_1	0,735	0,153	4,797	$1,61e-06$	***

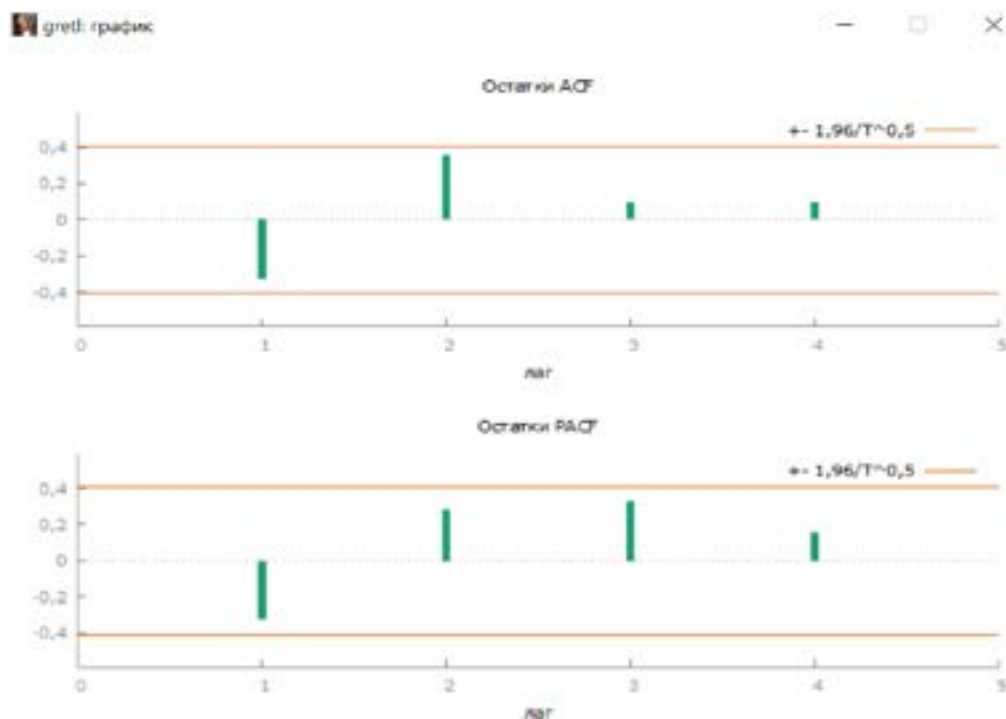


Рис. 3. Коррелограмма остатков ACF и $PACF$ модели

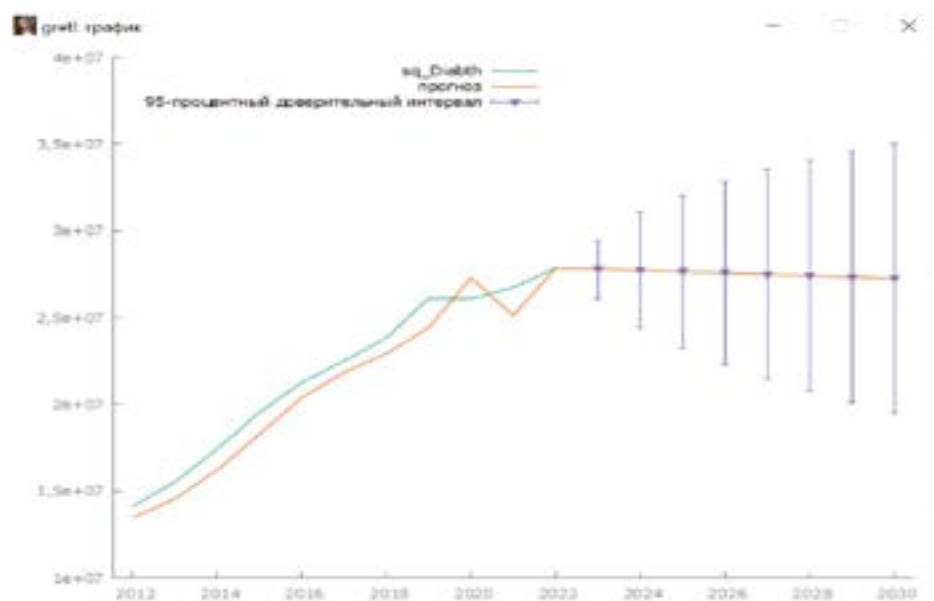


Рис. 4. Прогноз d на 2022–2030 гг.

В прогнозе уменьшается число больных.

нежных расходов населения на питание за период 2004–2022 гг.

Заключение

1. Собрана достоверная статистика числа больных диабетом за 2000–2022 гг., а также де-

2. Предложена математическая модель числа диабетиков.

3. Модель (1) может быть использована для прогноза числа больных диабетом.

Список литературы

1. Конституция РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>.
2. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. Распоряжение Правительства РФ № 2816-р от 06.10.2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>.
3. Соколин, В.Л. Российский статистический ежегодник / В.Л. Соколин. – 2005 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2005. – 819 с.
4. Соколин, В.Л. Российский статистический ежегодник / В.Л. Соколин. – 2007 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76/ – М., 2007. – 825 с.
5. Соколин, В.Л. Российский статистический ежегодник / В.Л. Соколин. – 2009 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2009. – 795 с.
6. Суринов, А.Е. Российский статистический ежегодник / А.Е. Суринов. – 2012 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2012. – 786 с.
7. Суринов, А.Е. Российский статистический ежегодник / А.Е. Суринов. – 2014 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2014. – 693 с.
8. Суринов, А.Е. Российский статистический ежегодник / А.Е. Суринов. – 2016 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2016. – 725 с.
9. Суринов, А.Е. Российский статистический ежегодник / А.Е. Суринов. – 2018 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2018. – 694 с.
10. Малков, П.В. Российский статистический ежегодник / П.В. Малков. – 2020 : Стат.сб./Рос-стат. – Р76. – М., 2020. – 700 с.

References

1. Konstitutsiya RF [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.consultant.ru>.
2. Prognoz dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF № 2816-r ot 06.10.2021 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.consultant.ru>.
3. Sokolin, V.L. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / V.L. Sokolin. – 2005 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2005. – 819 s.
4. Sokolin, V.L. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / V.L. Sokolin. – 2007 : Stat.sb./Rosstat. – R76/ – M., 2007. – 825 s.
5. Sokolin, V.L. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / V.L. Sokolin. – 2009 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2009. – 795 s.
6. Surinov, A.Ye. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / A.Ye. Surinov. – 2012 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2012. – 786 s.
7. Surinov, A.Ye. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / A.Ye. Surinov. – 2014 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2014. – 693 s.
8. Surinov, A.Ye. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / A.Ye. Surinov. – 2016 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2016. – 725 s.
9. Surinov, A.Ye. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / A.Ye. Surinov. – 2018 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2018. – 694 s.
10. Malkov, P.V. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik / P.V. Malkov. – 2020 : Stat.sb./Rosstat. – R76. – M., 2020. – 700 s.

© В.М. Никоноров, 2025

УДК 519.865.7, 519.86

А.А. ГЛАЗОВСКАЯ, Н.А. ГАСРАТОВА

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОРВИ

Ключевые слова: доступность медицинской помощи; коэффициент доступности лечения; ОРВИ; оценка потенциала регионов; сравнительный анализ.

Аннотация. Целью данного исследования является оценка потенциала регионов Великобритании, Казахстана и России в обеспечении доступности лечения острой респираторной вирусной инфекции (**ОРВИ**). В работе представлен коэффициент доступности лечения, связывающий среднюю стоимость протокола лечения и среднедушевой доход населения. На основе полученных данных проведена классификация регионов по категориям. Особое внимание уделено выявлению регионов-лидеров, регионов с перспективным развитием, а также проблемных регионов, требующих дополнительной государственной и бизнес-поддержки. Результаты исследования подчеркивают различия в доступности лечения в разных регионах и странах, что дает возможность для формирования приоритетных направлений государственной и региональной политики в сфере здравоохранения.

Введение

Современное здравоохранение является одной из ключевых областей общественного интереса, где внимание уделяется не только качеству медицинской помощи, но и ее доступности [1; 2]. ОРВИ является одним из наиболее распространенных заболеваний, что делает его своевременное лечение важным аспектом здравоохранения [3; 4]. Однако региональные различия зачастую создают неравенство в обеспечении доступности лечения [5].

Для оценки представлен специальный коэффициент, позволяющий связать стоимость лечения с доходами населения. Такой подход предоставляет возможность объективно оце-

нить потенциал регионов при обеспечении доступности медицинской помощи и выявить как регионы с высоким потенциалом, так и проблемные зоны, требующие особого внимания.

Целью данной работы является оценка потенциала регионов Великобритании, Казахстана и России при лечении ОРВИ, что включает расчет коэффициента, классификацию регионов в соответствии с полученными коэффициентами и сравнение результатов для каждой из стран. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций, направленных на повышение доступности лечения в проблемных регионах.

Коэффициент доступности медицинской помощи

Состояние экономики характеризуют показатели, такие как валовый внутренний продукт (**ВВП**), индекс промышленного производства, индекс деловой активности и прочие. Кроме того, существуют индексы паритета покупательной способности как соотношение денежных единиц к определенному набору товаров, услуг. Введем понятие из работы [6]: «Экономический потенциал региона – это совокупность имеющихся в наличии и возможных для мобилизации ресурсов региона, необходимых для его развития при условии их использования для производства конкурентоспособной продукции и наиболее полного удовлетворения потребностей нынешнего и будущего поколений с учетом интересов государства и бизнеса».

В данном исследовании для оценки потенциала регионов при лечении ОРВИ был разработан специальный коэффициент k , который связывает среднюю стоимость протокола лечения [7] со среднедушевым доходом в регионе. Формула для расчета коэффициента имеет вид:

$$k = \frac{P}{S}. \quad (1)$$



Рис. 1. Карта регионов РФ, демонстрирующая среднюю величину коэффициентов для каждого из регионов

В формуле (1) k – определяемый коэффициент; P – средняя алгебраическая сумма стоимости следующих (входящих в протокол лечения) лекарственных препаратов в одинаковой дозе и упаковке: парацетамол, тилорон, аскорбиновая кислота, ибупрофен, умифеновир, ксилонметазолин, коделак бронхо, меглюмина акридонатацетат, ацетилцистеин; S – среднедушевой денежный доход. Данный коэффициент можно рассмотреть как один из способов определения паритета покупательской способности. Кроме того, при расширенном рассмотрении числитель и знаменатель можно рассматривать как величины, зависящие от различных экономических показателей [8].

Коэффициент k был выбран для оценки, так как он учитывает соотношение средней стоимости протокола лечения и среднедушевого дохода, отражая реальную экономическую нагрузку на население. Использование стоимости протоколов объясняется их универсальностью и стандартизацией, что обеспечивает сопоставимость данных между регионами и странами. Этот подход позволяет выявить проблемные регионы и объективно оценить потенциал доступности медицинской помощи, что особенно важно для разработки эффективных стратегий в здравоохранении [9; 10]. Кроме того, этот фактор служит индикатором развития экономики региона, включая уровень химико-фармацевтической промышленности и развитость логистической сети поставок лекарственных средств. Более низкая стоимость протоколов лечения может

указывать на развитую инфраструктуру здравоохранения, высокую локализацию производства медикаментов и доступность технологий.

Чем ниже значение коэффициента k , тем выше потенциал региона при лечении ОРВИ, так как это означает, что затраты на лечение относительно доходов населения ниже.

Согласно работе [6] введены в рассмотрение шесть категорий ранжирования регионов:

- регионы-лидеры: k в диапазоне $[0,0174, 0,04163]$;
- регионы перспективного развития: k в диапазоне $(0,04163, 0,06587]$;
- регионы догоняющего развития: k в диапазоне $(0,06587, 0,0901]$;
- регионы разнонаправленных трендов развития (благоприятные и неблагоприятные): k в диапазоне $(0,0901, 0,11433]$;
- проблемные регионы: k в диапазоне $(0,11433, 0,13857]$;
- регионы стратегического отставания: k в диапазоне $(0,13857, 0,1628]$.

Оценка потенциала регионов России

Описанный выше коэффициент k был посчитан для каждого из регионов России. Данные для получения средней стоимости протокола лечения ОРВИ по каждому из регионов были получены с сайтов интернет-аптек [11; 12; 13] за 2024 г., среднедушевой доход бы взят за 2023 г. (на момент расчета обновленных данных не опубликовано на сайте государственной

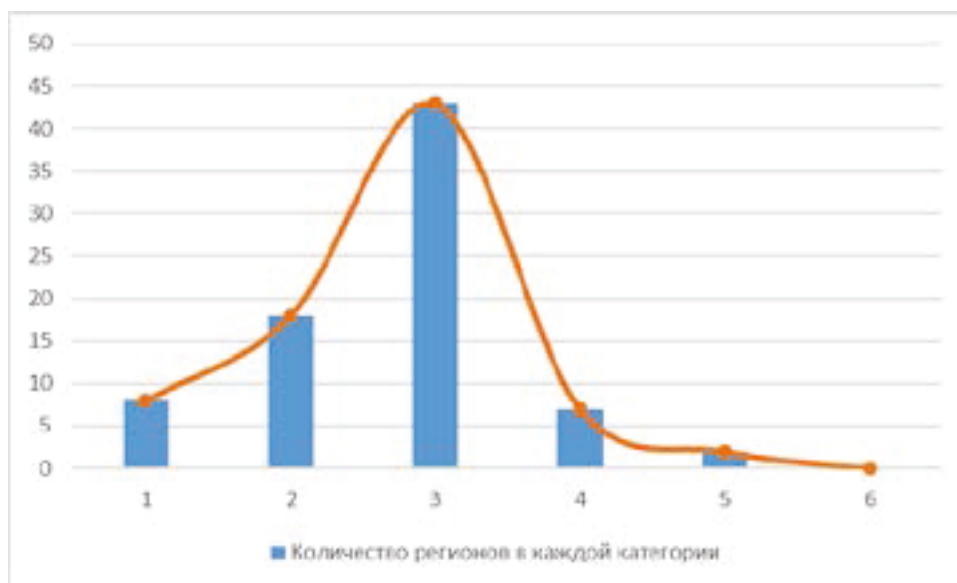


Рис. 2. Диаграмма распределения количества регионов РФ по категориям

Таблица 1. Средняя стоимость набора лекарственных препаратов согласно протоколу лечения ОРВИ и среднедушевой доход по регионам РФ

Регион РФ	P, руб.	S, руб.	Регион РФ	P, руб.	S, руб.
Алтайский край	3 189,66	35 621	Московская область	2 701,15	107 945
Амурская область	3 270,65	50 331	Мурманская область	2 824,52	68 693
Архангельская область	3 080,67	50 135	Ярославская область	3 398,85	42 804
Астраханская область	3 088,78	34 293	Нижегородская область	3 458,71	49 791
Белгородская область	2 683,73	46 320	Новгородская область	3 379,03	38 246
Брянская область	3 037,77	39 912	Новосибирская область	2 942,20	46 307
Владимирская область	3 048,28	36 452	Омская область	34 55,44	39 802
Волгоградская область	3 094,57	34 903	Оренбургская область	3 472,84	34 815
Вологодская область	3 002,38	38 659	Орловская область	2 828,42	38 390
Воронежская область	3 007,71	44 330	Пензенская область	3 382,28	34 446
г. Москва	1 954,02	107 945	Пермский край	2 892,39	42 000
г. Санкт-Петербург	1 926,91	70 206	Приморский край	3 093,92	51 757
Еврейская автономная область	2 863,74	40 222	Псковская область	3 541,18	37 277
Забайкальский край	3 323,15	41 623	Республика Адыгея	3 398,85	41 568
Ивановская область	3 069,81	37 780	Республика Алтай	3 573,58	31 455
Иркутская область	2 826,23	39 654	Республика Башкортостан	3 567,06	39 375
Кабардино-Балкарская Республика	2 535,95	37 927	Республика Бурятия	3 697,87	37 537
Калининградская область	3 085,65	38 367	Республика Дагестан	3 442,32	37 898

Калужская область	2 752,09	39 569	Республика Ингушетия	3 566,18	24 037
Камчатский край	3 080,59	79 105	Республика Калмыкия	3 521,49	25 720
Карачаево-Черкесская Республика	3 354,73	24 945	Республика Карелия	3 528,87	49 783
Кемеровская область	3 194,92	36 693	Республика Коми	3 385,23	50 971
Кировская область	2 687,68	37 189	Республика Крым	1 737,56	32 096
Костромская область	3 060,73	38 852	Республика Марий Эл	3 383,99	29 351
Краснодарский край	2 682,97	54 486	Республика Мордовия	3 455,94	28 473
Красноярский край	2 432,86	47 333	Республика Саха (Якутия)	3 615,78	65 004
Курганская область	3 215,27	32 856	Республика Татарстан	2 815,32	51 704
Курская область	2 714,32	41 732	Республика Тыва	3 140,21	26 238
Ленинградская область	2 694,65	43 423	Республика Удмуртия	2 838,28	36 028
Липецкая область	2 980,51	43 285	Республика Хакасия	3 563,65	32 657
Республика Чувашия	3 531,71	31 735	Тверская область	2 773,40	40 051
Ростовская область	2 846,09	45 925	Томская область	3 618,57	39 076
Рязанская область	3 318,99	37 554	Тульская область	3 408,43	39 206
Самарская область	3 542,33	42 203	Тюменская область	2 985,56	41 478
Саратовская область	2 909,69	32 488	Ульяновская область	3 471,76	35 277
Сахалинская область	2 311,44	80 734	Хабаровский край	3 024,83	54 772
Свердловская область	2 857,36	53 148	ХМАО	3 011,30	69 007
Северная Осетия-Алания	3 442,32	33 353	Челябинская область	3 470,47	37 376
Смоленская область	3 434,24	39 854	Чеченская Республика	3 442,52	34 834
Ставропольский край	2 933,39	31 456	Чукотский автономный округ	н/д	н/д
Тамбовская область	3 306,00	38 227	Ямало-Ненецкий автономный округ	3 609,39	131 067

статистики Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС). Графическое представление коэффициента k представлено на рис. 1. Значения среднедушевого дохода и стоимости набора лекарств указаны в табл. 1.

Из рис. 1 можно отметить следующее распределение регионов по категориям:

- регионы-лидеры – Московская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ханты-Мансийский автономный округ;

- регионы перспективного развития – Нижегородская область, Республика Коми, Республика Саха;

- регионы догоняющего развития – Самарская область, Иркутская область, Омская область;

- регионы разнонаправленных трендов развития – Республика Алтай, Республика Хакасия, Республика Тыва;

- проблемные регионы – Республика Калмыкия, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Ингушетия;

- в категорию стратегического отставания ни один из регионов не попал.

Ниже представлена диаграмма распределения количества регионов по указанным категориям и таблица со средней стоимостью протокола лечения и среднедушевым доходом.

Распределение регионов по категориям показывает, что регионы-лидеры, такие как Московская область и автономные округа, имеют высокий потенциал для обеспечения доступности медицинских услуг. Регионы перспективного развития, например, Нижегородская область, демонстрируют хорошие результаты, но требуют дополнительных усилий. Проблемные регионы, такие как Республика Калмыкия и другие республики Северо-Кавказского региона [14], нуждаются в улучшении условий

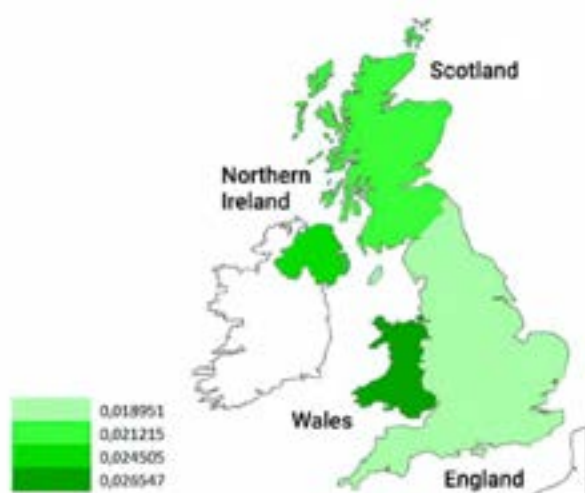


Рис. 3. Карта Великобритании, демонстрирующая среднюю величину коэффициентов каждой ее части

Таблица 2. Средняя стоимость набора лекарственных препаратов согласно протоколу лечения ОРВИ и среднедушевой доход по регионам Казахстана

Регион Казахстана	P , тенге	S , тенге
Абай	14 104,20	173 569
Акмолинская область	14 075,88	174 116
Актюбинская область	13 961,19	174 470
Алматинская область	14 165,70	139 088
Атырауская область	14 171,66	362 866
Западно-Казахстанская область	14 223,63	198 658
Жамбылская	14 398,54	134 849
Жетису	14 398,54	129 531
Карагандинская	14 575,13	212 647
Костанайская	14 395,97	184 505
Кызылординская	14 121,9	137 954
Мангистауская	14 281,23	235 295
Павлодарская	14 459,53	207 646
Северо-Казахстанская	14 303,02	166 277
Туркестанская	14 132,45	109 628
Улытау	14 389,5	260 814
Восточно-Казахстанская	14 138,82	211 317
г. Астана	14 440,34	264 259
г. Алматы	14 218,7	287 213
г. Шымкент	14 218,7	121 994



Рис. 4. Карта регионов Казахстана, демонстрирующая среднюю величину коэффициентов для каждого из регионов

доступности лечения. Отметим, что между введенным коэффициентом k и итоговым рейтингом регионов РФ в 2024 г. [15] существует сильная отрицательная линейная корреляция (по критерию Пирсона $r = -0,98$).

Оценка потенциала регионов Великобритании

Коэффициент k также был рассчитан для Великобритании для каждой из составляющих ее частей: Англии, Шотландии, Северной Ирландии и Уэльса. Данные для получения средней стоимости протокола лечения ОРВИ по каждой из частей были получены с сайта интернет-аптеки [16]. Набор лекарственных препаратов, максимально приближенный к набору лекарственных препаратов по протоколу лечения ОРВИ в РФ: аскорбиновая кислота, анти-вирусный препарат (умифеновир, амазон), меглюмина акридоната (аналог), ибупрофен, парацетамол, ксилонметазолин, отхаркивающие средства (ацетилцестин). Значения среднедушевого дохода в разных частях Великобритании опубликованы в источнике [17].

Данные коэффициенты для Великобритании получились следующими:

- Англия: $k = 0,01895$;
- Шотландия: $k = 0,02122$;
- Северная Ирландия: $k = 0,02450$;
- Уэльс: $k = 0,02655$.

Можно отметить, что все части Великобритании попали в категорию регионов-лидеров.

Оценка потенциала регионов Казахстана

Описанный выше коэффициент k был посчитан для каждого из регионов Казахстана. Данные для получения средней стоимости протокола лечения ОРВИ по каждому из регионов были получены с сайтов интернет-аптек [18].

Набор лекарственных препаратов, максимально приближенный к протоколу лечения ОРВИ в РФ: аскорбиновая кислота, умифеновир, меглюмина акридоната, ибупрофен, парацетамол, ксилонметазолин, ацетилцестин. Значения среднедушевого дохода в регионах Казахстана опубликованы в источнике [19].

Значения среднедушевого дохода и стоимости набора лекарств представлены в табл. 2.

Величины коэффициента k для Казахстана представлены на рис. 4.

По результатам расчета можно увидеть следующее распределение регионов Казахстана по категориям:

- регионы-лидеры – Атырауская область ($k = 0,0391$);
- регионы перспективного развития – г. Алматы ($k = 0,0495$), г. Астана ($k = 0,0546$), Улытау ($k = 0,0552$), Мангистауская область ($k = 0,0607$);
- регионы догоняющего развития – Вос-

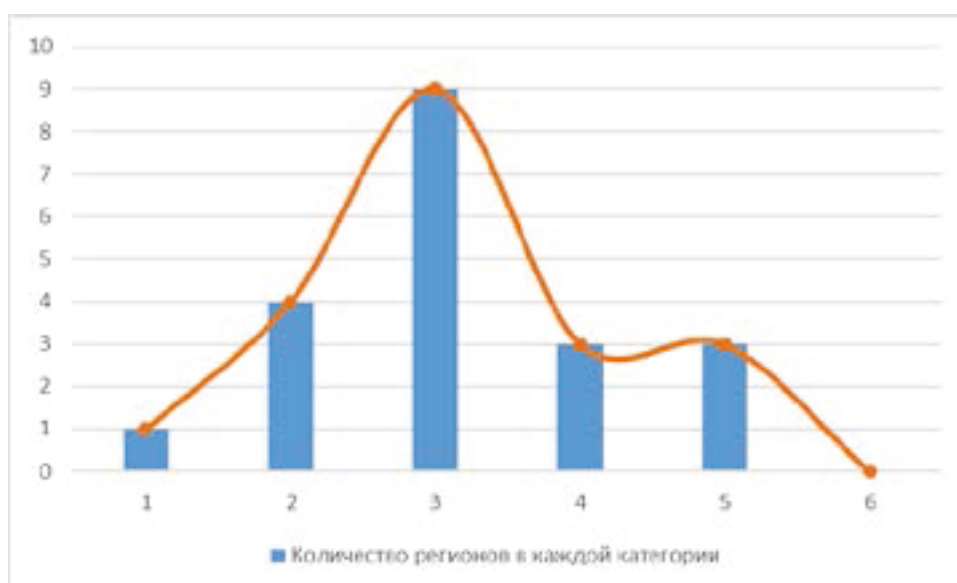


Рис. 5. Диаграмма распределения количества регионов Казахстана по категориям

точно-Казахстанская область ($k = 0,0669$), Павлодарская область ($k = 0,0696$), Западно-Казахстанская область ($k = 0,0716$), Карагандинская область ($k = 0,0685$), Костанайская область ($k = 0,0780$), Акмолинская область ($k = 0,0808$), Актюбинская область ($k = 0,0800$), Абай ($k = 0,0813$), Северо-Казахстанская область ($k = 0,0860$);

– регионы разнонаправленных трендов развития – Кызылординская область ($k = 0,1024$), Алматинская область ($k = 0,1018$), Жамбылская область ($k = 0,1068$);

– проблемные регионы (k в диапазоне $(0,11433, 0,13857]$) – г. Шымкент ($k = 0,1166$), Жетису ($k = 0,1112$), Туркестанская область ($k = 0,1289$).

– регионы стратегического отставания: в данную категорию ни один из регионов не попал.

Сверху представлена диаграмма (рис. 5) распределения количества регионов по указанным категориям.

Регионы-лидеры Казахстана, такие как Атырауская область, демонстрируют наименьшие значения коэффициента k , что свидетельствует о высокой доступности лечения ОРВИ. Регионы перспективного развития, например, г. Алматы и г. Астана, также показывают хорошую доступность, хотя и с немного более высокими значениями. Проблемные регионы, включая г. Шымкент и Жетису, требуют дополнительных усилий для улучшения доступности

лечения, поскольку их коэффициенты k значительно выше. Важно отметить, что ни один регион не попал в категорию стратегического отставания, что свидетельствует о возможностях для улучшения ситуации в будущем.

Сравнение полученных результатов

Из полученных выше коэффициентов для регионов каждой из стран можно заметить, что Россия и Казахстан демонстрируют схожее распределение регионов по категориям, в то время как распределение для Великобритании отличается. Как в России, так и в Казахстане меньше всего регионов попали в категорию регионов-лидеров; наибольшее количество регионов попали в категорию регионов догоняющего развития; также можно отметить, что полученные коэффициенты для регионов обеих стран довольно похожи.

В Великобритании ситуация заметно отличается от России и Казахстана: все части этой страны попали в категорию регионов-лидеров.

Полученные результаты могут свидетельствовать о различиях в системах здравоохранения Великобритании, России и Казахстана, так как присутствует заметное отличие в коэффициентах, рассчитанных для этих стран. Также это может говорить о большей доступности лечения ОРВИ в Великобритании по сравнению с двумя другими странами, но стоит отметить, что в этом исследовании не учитывались дру-

гие факторы, которые могут влиять на доступность лечения, такие как налоги, стоимость проживания и другие социально-экономические факторы.

Заключение

Результаты проведенного исследования показали значительные различия в доступности лечения ОРВИ среди регионов Великобритании, Казахстана и России. В основе оценки лежит коэффициент доступности лечения, который учитывает как стоимость протокола лечения, так и среднедушевой доход населения. Это позволяет объективно классифицировать регионы по категориям, что может дать представление о потенциальных проблемах в сфере здравоохранения.

В Великобритании наблюдается более равномерное распределением коэффициентов в категории регионы-лидеры. В Казахстане и

России ситуация более разнообразна, с большинством регионов, попавших в категорию регионов догоняющего развития, что свидетельствует о наличии значительных различий между регионами в обеспечении медицинской помощи. Проблемные регионы в этих странах требуют дополнительной поддержки для улучшения доступности лечения.

Необходимо учитывать, что, несмотря на различия в уровне доступности лечения ОРВИ в разных странах, все регионы имеют потенциал для улучшения ситуации, особенно с учетом возможности мобилизации дополнительных ресурсов и государственной поддержки. Данное исследование может служить основой для разработки более эффективных стратегий и рекомендаций для улучшения доступности медицинской помощи, направленных на улучшение здоровья населения, особенно в регионах с более высоким коэффициентом.

Список литературы

1. Омеляновский, В.В. Анализ зарубежной практики планирования сети медицинских организаций / В.В. Омеляновский, Д.В. Лукьянцева, Н.Н. Сисигина // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2022. – Т. 15. – № 3. – С. 340–352.
2. Новодережкина, Е.А. Значение исследований реальной клинической практики в оценке технологий здравоохранения / Е.А. Новодережкина, С.К. Зырянов // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2022. – № 3(15). – С. 380–389.
3. Касимова, А.Р. Клинико-экономическая оценка применения топического бактериального лизата Имудон® для лечения и профилактики острых инфекций верхних дыхательных путей у детей / А.Р. Касимова, А.С. Колбин // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2024. – № 17(2). – С. 163–171.
4. Колбин, А.С. Клинико-экономическая оценка применения ИРС®19 для лечения и профилактики острых респираторных инфекций у детей / А.С. Колбин, А.Р. Касимова // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2024. – № 17(2). – С. 182–190.
5. Кочкурова, Е.А. Региональные проблемы организации экспорта медицинских услуг и развития медицинского туризма / Е.А. Кочкурова, О.Л. Васильева, В.А. Носкова, А.С. Кочкуров, 2023.
6. Никулина, Е.В. Экономический потенциал региона и оценка эффективности его использования / Е.В. Никулина, И.В. Чистникова, А.В. Орлова.
7. Протокол лечения ОРВИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/026/223>.
8. Титов, В.А., Климашина, В.В. Статистический анализ социальной дифференциации населения рф по величине среднедушевых денежных доходов в современных условиях // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3-1. – С. 207– 211 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40033>.
9. Данные о предельных наценках на ЖНВЛП по состоянию на 12 ноября 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fas.gov.ru/documents/689741>.
10. Оценка доступности лекарственных препаратов на основе анализа цен и ценообразования на лекарства в России и в странах СНГ, ЕС и БРИКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fas.gov.ru/upload/documents/archive/60f44aa2e81ccf43234e5bbf7e25a356.pdf>.

11. Интернет-аптека Ютека [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://uteka.ru>.
12. Интернет-аптека Еаптека [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.eapteka.ru>.
13. Интернет аптека Здравсити [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zdravcity.ru>.
14. Чистик, О.Ф. Среднедушевые денежные доходы населения и их многомерный статистический анализ в регионах Российской Федерации / О.Ф. Чистик // Региональное развитие. – 2015. – № 4(8) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://regrazvitie.ru/srednedushevyye-denezhnye-dohody-naseleniya-i-ih-mnogomernyj-statisticheskij-analizv-regionah-rossijskoj-federatsii>.
15. Итоговый рейтинг регионов РФ – 2024 от 23.12.2024. РИА РЕЙТИНГ. Россия Сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://riarating.ru/infografika/20241223/630274686.html>.
16. Интернет-аптека LloydsPharmacy [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lloydspharmacy.com>.
17. Официальный сайт компании Statista [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.statista.com>.
18. Интернет-аптека Казахстана [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kz.apteka.com>.
19. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-life/publications/182600>.

References

1. Omel'yanovskiy, V.V. Analiz zarubezhnoy praktiki planirovaniya seti meditsinskih organizatsiy / V.V. Omel'yanovskiy, D.V. Luk"yantseva, N.N. Sisigina // Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya. – 2022. – T. 15. – № 3. – S. 340–352.
2. Novoderezhkina, Ye.A. Znachenie issledovaniy real'noy klinicheskoy praktiki v otsenke tekhnologiy zdravookhraneniya / Ye.A. Novoderezhkina, S.K. Zyryanov // Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya. – 2022. – № 3(15). – S. 380–389.
3. Kasimova, A.R. Kliniko-ekonomicheskaya otsenka primeneniya topicheskogo bakterial'nogo lizata Imudon® dlya lecheniya i profilaktiki ostrykh infektsiy verkhnikh dykhatel'nykh putey u detey / A.R. Kasimova, A.S. Kolbin // Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya. – 2024. – № 17(2). – S. 163–171.
4. Kolbin, A.S. Kliniko-ekonomicheskaya otsenka primeneniya IRS®19 dlya lecheniya i profilaktiki ostrykh respiratornykh infektsiy u detey / A.S. Kolbin, A.R. Kasimova // Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya. – 2024. – № 17(2). – S. 182–190.
5. Kochkurova, Ye.A. Regional'nyye problemy organizatsii eksporta meditsinskih uslug i razvitiya meditsinskogo turizma / Ye.A. Kochkurova, O.L. Vasil'yeva, V.A. Noskova, A.S. Kochkurov, 2023.
6. Nikulina, Ye.V. Ekonomicheskij potentsial regiona i otsenka effektivnosti yego ispol'zovaniya / Ye.V. Nikulina, I.V. Chistnikova, A.V. Orlova.
7. Protokol lecheniya ORVI [Electronic resource] – Access mode : <https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/026/223>.
8. Titov, V.A., Klimashina, V.V. Statisticheskij analiz sotsial'noy differentsiatsii naseleniya rf po velichine srednedushevyykh denezhnykh dokhodov v sovremennykh usloviyakh // Fundamental'nyye issledovaniya. – 2016. – № 3-1. – S. 207–211 [Electronic resource] – Access mode : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40033>.
9. Dannyye o predel'nykh natsenkakh na ZHNVLР po sostoyaniyu na 12 noyabrya 2024 goda [Electronic resource] – Access mode : <https://fas.gov.ru/documents/689741>.
10. Otsenka dostupnosti lekarstvennykh preparatov na osnove analiza tsen i tsenoobrazovaniya na lekarstva v Rossii i v stranakh SNG, YES i BRIKC [Electronic resource] – Access mode : <https://fas.gov.ru/upload/documents/archive/60f44aa2e81ccf43234e5bbf7e25a356.pdf>.
11. Internet-apteka Yuteka [Electronic resource] – Access mode : <https://uteka.ru>.
12. Internet-apteka Yeapteka [Electronic resource] – Access mode : <https://www.eapteka.ru>.
13. Internet apteka Zdravsiiti [Electronic resource] – Access mode : <https://zdravcity.ru>.
14. Chistik, O.F. Srednedushevyye denezhnyye dokhody naseleniya i ikh mnogomernyy

statisticheskij analiz v regionakh Rossiyskoy Federatsii / O.F. Chistik // Regional'noye razvitiye. – 2015. – № 4(8) [Electronic resource] – Access mode : <http://regrazvitie.ru/srednedushevye-denezhnye-dohody-naseleniya-i-ih-mnogomernyj-statisticheskij-analizv-regionah-rossijskoj-federatsii>.

15. Itogovyy reyting regionov RF – 2024 ot 23.12.2024. RIA REYTING. Rossiya Segodnya [Electronic resource] – Access mode : <https://riarating.ru/infografika/20241223/630274686.html>.

16. Internet-apteka LloydsPharmacy [Electronic resource] – Access mode : <https://lloydspharmacy.com>.

17. Ofitsial'nyy sayt kompanii Statista [Electronic resource] – Access mode : <https://www.statista.com>.

18. Internet-apteka Kazakhstana [Electronic resource] – Access mode : <https://kz.apteka.com>.

19. Byuro natsional'noy statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan [Electronic resource] – Access mode : <https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-life/publications/182600>.

© А.А. Глазовская, Н.А. Гасратова, 2025

УДК 334.012.6

Э.Ф. ГАЛЯМОВА, А.В. АНОШИН, О.Е. ДАНИЛИН

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск

РАЗВИТИЕ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

Ключевые слова: государственная поддержка предпринимательства; Европейский Союз (ЕС); малое и среднее предпринимательство (МСП); малый бизнес.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности развития малого и среднего предпринимательства в странах Европейского Союза. Анализируются ключевые показатели развития МСП по отдельным странам ЕС. Особое внимание уделяется статистическим данным, характеризующим положение МСП в разных странах ЕС. Цель исследования – показать место предприятий малого и среднего бизнеса в европейской экономике, выявить проблемы развития с учетом последних событий в мире и геополитике. Среди задач исследования выделены: изучение динамики показателей МСП; выявление наиболее успешных примеров развития малого бизнеса в странах ЕС. Методы исследования: анализ, обобщение, сравнение, статистические методы обработки данных. Результат исследования: предприятия малого и среднего бизнеса в ЕС должны занимать лидирующую позицию в радикальных изменениях, политика развития МСП должна быть встроена в политику ЕС.

Развитие малого и среднего бизнеса в странах Европейского Союза занимает особое место в экономике региона. Оно влияет на экономический рост в различных секторах экономики стран ЕС, вносит значительный вклад в создание новых рабочих мест, составляет основу инноваций, находясь у истоков технологических достижений, тем самым поддерживая конкурентоспособность европейских стран на мировом уровне. МСП быстро адаптируются благодаря своей гибкости, мобильности и оперативности действий в условиях неопределенности и бы-

стро меняющихся обстоятельств, тем самым повышая устойчивость экономики ЕС.

В соответствии с рекомендациями Еврокомиссии от 6 мая 2003 г. к МСП относятся предприятия, рассматриваемые по трем критериям, связанным с уровнем занятости, оборота и размером баланса. В соответствии с представленными в табл. 1 данными за 2023–2024 гг. можно сделать вывод о том, что предприятия малого и среднего бизнеса являются основой экономики стран Европейского Союза. В 2024 г. в ЕС функционировало около 25,8 млн предприятий, на их долю приходилось 99,8 % всех предприятий данного региона. Эти предприятия обеспечивают более 65 % всех рабочих мест, на них приходится 53,2 % добавленной стоимости, созданной в странах ЕС.

В структуре МСП наибольшую долю занимают микропредприятия, они обеспечивают рабочими местами треть занятых в экономике (наравне с крупными предприятиями). Средние предприятия обеспечивают занятость около 15,5 % европейцев, малые предприятия – 19,6 %. При этом более 65 % работников в ЕС трудятся на предприятиях малого и среднего бизнеса, производя более половины всей добавленной стоимости в экономике Европейского Союза.

В 2024 г. количество МСП увеличилось на 256,3 тыс., прирост составил 1 % по сравнению с 2023 г. Микропредприятия, малые и средние предприятия в ЕС обеспечивают работой более 89,4 млн чел., тогда как на крупных предприятиях занято 47,6 млн чел. Совокупная добавленная стоимость МСП составляла в 2024 г. более 5 трлн евро. Занятость в сфере малого и среднего предпринимательства выросла на 0,8 %, а добавленная стоимость – на 4,2 %. Но необходимо учитывать, что рост добавленной стоимости не корректируется на инфляцию. Наиболее высокие темпы роста по рассматриваемым по-

Таблица 1. Динамика показателей МСП в Европейском Союзе, 2023–2024 гг.
(составлено авторами по данным Евростат [1; 2])

МСП (уровень занятости, уровень оборота и размер баланса)	Количество предприятий		Количество занятых		Добавленная стоимость, млрд €	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Микропредприятия (0 до < 10 чел.; < 2 млн €; < 2 млн €)	24 209 297	24 465 901	40 803 310	41 390 359	1 799,4	1 885,1
Доля, %	93,6	93,7	30,0	30,2	19,8	19,9
Малые предприятия (10 до < 50 чел.; < 10 млн €; < 10 млн €)	1 387 888	1 388 014	26 770 763	26 860 144	1 527,1	1 586,6
Доля, %	5,4	5,3	19,7	19,6	16,8	16,7
Средние предприятия (50 до < 250 чел.; < 50 млн €; < 43 млн €)	210 551	210 170	21 156 339	21 187 679	1 512,2	1 571,9
Доля, %	0,8	0,8	15,5	15,5	16,6	16,6
МСП всего	25 807 736	26 064 085	88 730 412	894 38 182	4 838,7	5 041,8
Доля, %	99,8	99,8	65,2	65,3	53,1	53,2
Крупные предприятия	43 420	43 506	47 355 823	47 561 748	4 265,2	4 433,8
Всего	25 851 156	26 107 591	136 086 235	136 999 906	9 103,8	9 475,3

казателям наблюдаются у микропредприятий с численностью персонала до десяти человек, что указывает на их особую роль в обеспечении экономического роста рассматриваемого региона.

По данным Евростата, страной с наибольшим количеством МСП в ЕС является Италия (14,9 %), с самой высокой долей занятости (20,5 %) и добавленной стоимости (27,3 %) – Германия (табл. 2). На втором месте по количеству предприятий находится Франция (с долей МСП 13,9 %), на третьем – Испания (11,41 %), по доле занятых и добавленной стоимости Италия занимает вторую строчку (13,55 % и 12,45 % соответственно), опережая Францию (10,41 % и 11,71 %).

В динамике количество МСП увеличилось в 2024 г. во всех странах ЕС, не считая Швеции, в этой стране произошло сокращение данного сектора на 3,9 тыс. предприятий. Наблюдается незначительное в масштабах экономики сокращение числа занятых в МСП в Финляндии и Италии.

Наибольшее число МСП по данным на 2023 г. представлено в сфере услуг (13,5 млн предприятий, с долей 52,4 % от общего числа МСП) и в торговле оптовой и розничной

(5,9 млн предприятий, 23,2 %). На третьей и четвертой позиции – строительство (3,9 млн предприятий, 15 %) и производство (2 млн предприятий, 8,3 %). Сектор оптовой и розничной торговли наиболее распространен среди европейских микропредприятий, обрабатывающая промышленность – среди средних по размеру предприятий с численностью до 250 чел. и оборотом до 50 млн евро.

Предприятия малого и среднего бизнеса широко распространены во всех цепочках создания стоимости, при этом не всегда участвуя напрямую. Они широко представлены на нишевых рынках и в дополнительных услугах, обеспечивая эффективное функционирование рынка. Среди предприятий МСП много работающих в сфере профессиональной, научной и технической деятельности, это более 5 млн предприятий, на долю которых приходится почти 20 % от всех МСП. МСП участвуют в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах (**НИОКР**) и внедряют инновации во всех цепочках создания стоимости. Они являются первопроходцами в новых отраслях, необходимость развития которых продиктована современными событиями в мире и в экономике (кибербезопасность, многооблачные

Таблица 2. Значимость МСП для экономики ЕС, в 2023–2024 гг. (составлено авторами по данным Евростат [1; 2])

Страна	Количество предприятий		Доля, %	Количество занятых, чел.		Доля, %	Добавленная стоимость, млрд €		Доля, %
	2023	2024		2023	2024		2023	2024	
Австрия	425 223	431 216	1,65	2 101 398	2 121 340	2,37	147,9	155,0	3,07
Бельгия	747 274	758 151	2,91	2 003 621	2 026 314	2,27	179,4	188,1	3,73
Болгария	341 534	345 716	1,33	1 471 989	1 483 954	1,66	31,9	33,6	0,67
Хорватия	201 008	204 595	0,78	816 915	825 736	0,92	21,6	22,7	0,45
Кипр	64 586	66 699	0,26	252 539	260 474	0,30	11,2	11,9	0,24
Чехия	1 117 955	1 126 153	4,32	2 589 169	2 596 672	2,90	94,5	96,7	1,92
Дания	247 634	251 437	0,96	1 251 331	1 258 570	1,41	100,4	105,4	2,09
Эстония	118 415	121 331	0,47	415 866	422 414	0,47	15,3	16,5	0,33
Финляндия	339 124	341 159	1,31	916 278	913 236	1,02	69,7	71,6	1,42
Франция	3 432 391	3 438 355	13,19	9 297 030	9 311 177	10,41	572,4	590,3	11,71
Германия	2 619 751	2 639 534	10,13	18 245 027	18 331 296	20,50	1 325,9	1 375,7	27,29
Греция	780 630	808 339	3,10	2 407 185	2 537 352	2,84	53,9	59,1	1,17
Венгрия	770 239	782 859	3,00	2 145 448	2 158 842	2,41	55,5	58,4	1,16
Ирландия	321 289	329 084	1,26	1 197 602	1 225 174	1,37	143,1	152,7	3,03
Италия	3 904 898	3 906 272	14,99	12 132 978	12 126 234	13,55	610,9	627,6	12,45
Латвия	106 758	108 472	0,42	460 140	466 402	0,52	14,4	15,6	0,31
Литва	274 699	282 751	1,08	843 512	869 017	0,97	24,3	26,3	0,52
Люксембург	39 866	40 863	0,16	215 853	219 339	0,25	22,5	23,7	0,47
Мальта	48 554	52 194	0,20	154 802	165 870	0,20	8,3	9,4	0,19
Нидерланды	1 504 144	1 521 866	5,84	4 183 197	4 225 206	4,72	353,7	371,9	7,38
Польша	2 214 906	2 266 665	8,70	6 975 415	7 102 480	7,94	193,6	208,4	4,13
Португалия	987 419	1 007 701	3,87	2 856 192	2 908 870	3,25	90,8	95,1	1,89
Румыния	816 423	821 183	3,15	2 950 118	2 968 566	3,32	78,4	86,0	1,71
Словакия	548 987	550 300	2,11	1 211 094	1 220 521	1,36	31,5	33,5	0,66
Словения	164 070	166 965	0,64	526 094	534 738	0,60	24,6	26,2	0,52
Испания	2 946 116	2 974 319	11,41	9 075 415	9 152 721	10,23	419,2	437,0	8,67
Швеция	723 843	719 906	2,76	2 034 204	2 005 667	2,24	143,7	143,9	2,85
ЕС	25 807 736	26 064 085	100	88 730 412	89 438 182	100	4 838,7	5 041,8	100

платформы, биоудобрения, переработка отходов и др.).

На развитие МСП в Европейском Союзе оказывает влияние ряд факторов, среди которых инфляционный и энергетический кризисы, дефицит квалифицированных кадров на рынке труда, особенно в странах со стареющим и со-

кращающимся населением. Все это приводит к ужесточению условий кредитования, ограничению притока финансирования и инвестиций, увеличению финансового стресса и росту напряженности на рынке труда. Многие проблемы МСП усугубляются в свете экономического неравенства между государствами-членами ЕС,

часто они связаны с проблемами Евросоюза в целом.

Разрешение сложившейся ситуации возможно в результате имплементации политики развития МСП в политику Европейского Сою-

за, так как предприятия данной сферы являются драйвером роста, а их развитие – одним из главных условий восстановления европейской экономики, а также повышения конкурентоспособности стран-членов ЕС.

Список литературы

1. Евростат. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ec.europa.eu/eurostat>.
2. Европейская комиссия. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://single-market-economy.ec.europa.eu/smes/sme-strategy-and-sme-friendly-business-conditions/sme-performance-review_en.
3. Особенности и тенденции развития мирового рынка вооружений и военной техники / Е.Ю. Злобина, Э.Ф. Галямова // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 3. – С. 118–120.
4. Официальный сайт Statista [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.statista.com>.

References

1. Yevrostat. Ofitsial'nyy sayt [Electronic resource] – Access mode : <https://ec.europa.eu/eurostat>.
2. Yevropeyskaya komissiya. Ofitsial'nyy sayt [Electronic resource] – Access mode : https://single-market-economy.ec.europa.eu/smes/sme-strategy-and-sme-friendly-business-conditions/sme-performance-review_en.
3. Osobennosti i tendentsii razvitiya mirovogo rynka vooruzheniy i voyennoy tekhniki / Ye.YU. Zlobina, E.F. Galyamova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 3. – S. 118–120.
4. Ofitsial'nyy sayt Statista [Electronic resource] – Access mode : <https://www.statista.com>.

© Э.Ф. Галямова, А.В. Аношин, О.Е. Данилин, 2025

УДК 339.166.2

О.Е. ДАНИЛИН, Э.Ф. ГАЛЯМОВА, А.В. АНОШИН,
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск

МИРОВОЙ РЫНОК НЕФТИ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Ключевые слова: добыча нефти; запасы нефти; мировой рынок нефти; ОПЕК; потребление нефти; прогноз; спрос на нефть.

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые тенденции развития мирового рынка нефти. Анализируется динамика мировых доказанных запасов, добычи, потребления нефти по отдельным регионам и странам мира. Центральное место в исследовании отводится последним тенденциям и факторам, влияющим на прогноз ключевых показателей. Цель исследования – определить перспективы развития рынка нефти, сделать прогноз спроса на нефть. Среди задач выделены: изучение динамики показателей нефтяной отрасли; выявление основных конъюнктурообразующих факторов и степень их влияния на параметры и показатели мирового рынка нефти; прогнозирование спроса на нефть с учетом ключевых макроэкономических показателей. Методы исследования: статистические методы обработки данных, построение эконометрической модели с целью прогнозирования. Результат исследования: рынок нефти будет характеризоваться стабилизацией спроса и незначительным ростом добычи.

Мировой рынок нефти как совокупность национальных и региональных рынков является одним из наиболее крупных, сложных и важных составных частей глобальной экономики. Мировой нефтегазовый рынок представляет собой единение национальных рынков – отраслей по разведке, добыче, подготовке, транспорту, переработке и реализации многочисленных видов продукции, получаемой из исходного сырья. Этот рынок и его продукция затрагивают жизнь буквально каждого человека, который связан с транспортом, электроэнергией, производством тысяч и тысяч видов продуктов.

Нефтегазовая отрасль влияет на геополитику и международные отношения, включая

национальную безопасность, выборы, международные конфликты. Значение и влияние международного рынка нефти сказывается на функционировании практически всех других рынков мирового уровня.

В свою очередь, мировые товарные рынки сами оказывают непосредственное влияние на состояние, конъюнктуру и динамику мирового нефтегазового рынка. Мониторингу цены на нефть уделяют гораздо больше внимания, чем другим сырьевым товарам мировой экономики.

В последнее время в различных источниках стали появляться противоречивые прогнозы изменения показателей спроса и добычи нефти в глобальном масштабе. Определяющими по итогам 2024 г. стали тренды и события следующего характера:

- рост мирового спроса на нефть на 0,9 млн барр./сут.;
- безусловное лидерство США по показателю ежедневной добычи в размере 13,2 млн барр./сут.;
- движущая сила прироста мирового спроса на нефть стала Индия;
- жесткие антироссийские и антииранские санкции в области добычи нефти;
- сохраняющийся дефицит на рынке нефти в размере 0,2 млн барр./сут., который обусловлен самоограничением добычи нефти странами ОПЕК+;
- прирост добычи нефти определяли страны, не входящих в ОПЕК+: США, Канада, Гайана;
- неопределенность в определении рыночного баланса;

На начало 2024 г. общемировые доказанные запасы нефти составили 1,75 трлн баррелей [3]. Организация стран-экспортеров нефти (ОПЕК) считает, что деление мирового рынка нефти и газа по представленной схеме (рис. 1) отражает фактор влияния того или иного региона, отдельной страны на состояние показателей этого

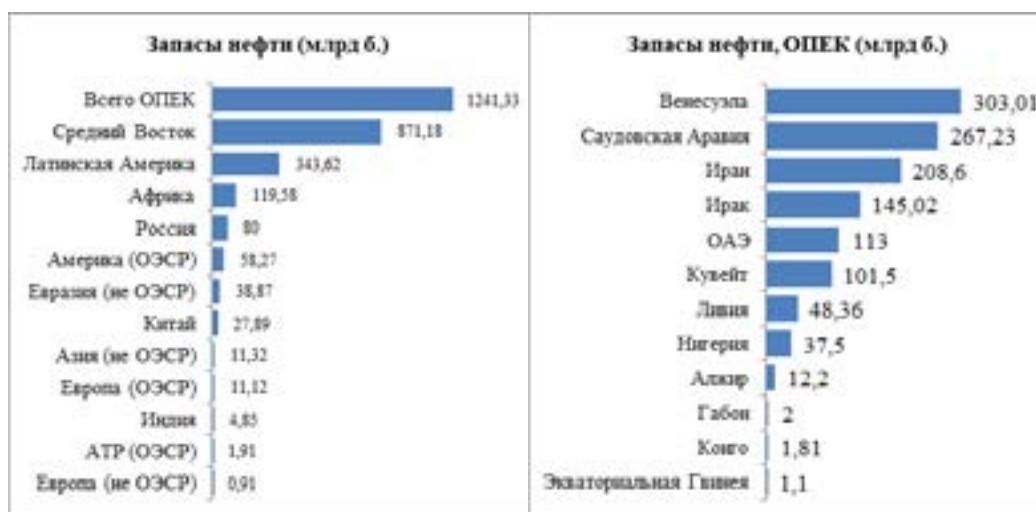


Рис. 1. Доказанные запасы сырой нефти на начало 2024 г. (млрд баррелей) (составлено авторами по данным *ОПЕК* [3; 4])

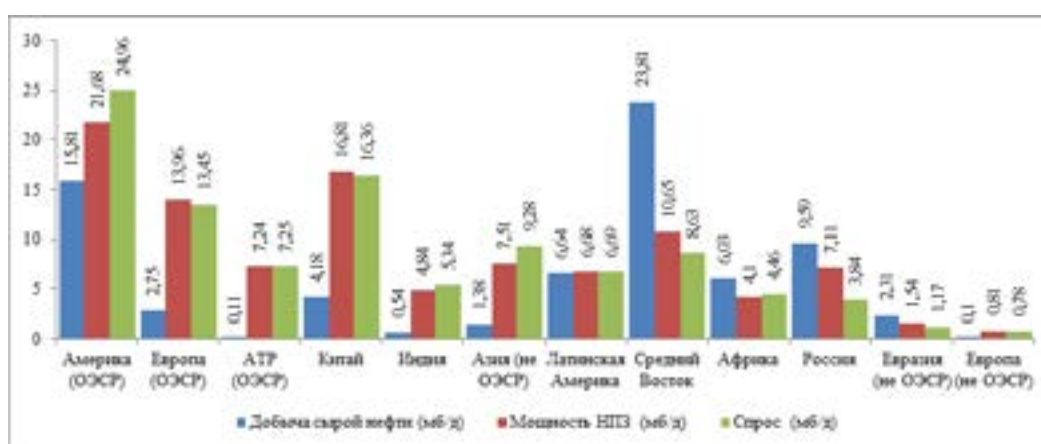


Рис. 2. Добыча сырой нефти, мощность НПЗ, спрос на нефть на начало 2024 г. (млн барр./сут.) (составлено автором по данным *ОПЕК* [3; 4])

рынка.

Согласно данным ОПЕК, самым богатым регионом по запасам нефти является Средний Восток с показателем 55,5 % от мирового уровня, на втором месте располагаются страны Латинской Америки – 21,9 %, третье место в этом рейтинге занимает Африка – 13,1 %, четвертое место – Россия (5,1 %). Венесуэла имеет самые крупные запасы нефти, ее доля около 24,4 % всех мировых запасов – около 300 млрд баррелей, Саудовская Аравия – на втором месте (267,23 млрд барр., 21,5 %), на третьем – Иран (208,6 млрд барр., 16,8 %) [3].

Показатели мировой добычи нефти указывают на то, что страны Ближнего Востока за-

нимают лидирующую позицию: их доля в мировой добыче сырой нефти 32,5 %, на втором месте располагаются страны, входящие в ОЭСР, в том числе Америка – 21,6 %, Россия – на третьем месте (13,1 %).

Анализ спроса и добычи нефти указывает: спрос опережает предложение. Инвесткомпания *Nine Point Partners* (Канада) подтверждает: запасы нефти в резервуарных парках по всему миру находятся на рекордно низком уровне, а именно 4,3 млрд барр., хотя двумя годами ранее превышали 4,6 млрд барр.

Перечисленные факторы требуют от всех нефтедобывающих стран скорейшего ввода в эксплуатацию дополнительных мощностей по

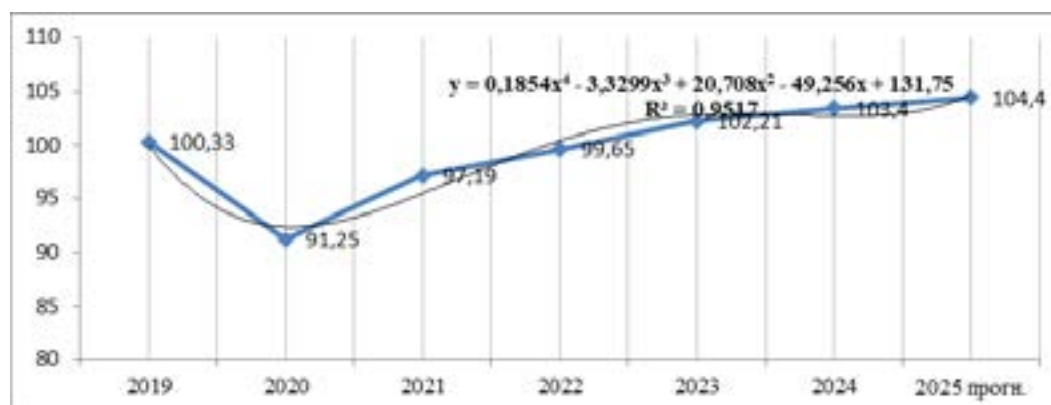


Рис. 3. Прогноз мирового спроса на нефть, 2025 г. (млн барр./сут.) (составлено авторами по данным OPEC [3])

добыче нефти и будут определяющими на мировом рынке нефти в течение всего 2025 г. Эта ситуация усугубляется неопределенностью прогнозов о росте добычи сланцевой нефти в США и тем, что 2025 г. будет годом стабилизации добычи в странах вне ОПЕК+. Последнее обстоятельство приобретает новое значение ввиду того, что рычаги воздействия на мировой рынок нефти снова окажутся в руках государств, входящих в группу ОПЕК+, а значит, ОПЕК+ приобретет новое значение в системе управления мировым рынком нефти.

Управление информации Минэнерго США (EIA) прогнозирует повышение потребления нефти в США на 1,3 млн барр./сут. в 2025 г.

На данный момент времени существующие резервные мощности стран-членов ОПЕК+ оцениваются в 4 млн барр./сут. Эти резервы мощности станут своеобразным буфером, способным смягчить нарастающий дефицит нефти. Страны-члены ОПЕК+ будут в выигрышной позиции по поводу установления цен на мировом рынке, но ожидать резких изменений котировок не стоит, нефть не выйдет за пределы цены 80 долл. за баррель.

В качестве подтверждения рассматриваемой ситуации можно привести данные по коммерческим запасам нефти и нефтепродуктов в странах ОЭСР, которые в ноябре 2024 г. снизились на 20,1 млн барр. до 2,749 млрд барр. Это минимальное значение с августа 2022 г. При этом общие мировые нефтяные запасы в ноябре 2024 г. составили 7,655 млрд барр., впервые с мая поднявшись на 12,2 млн барр. По оценке *Oil & Gas Journal*, доказанные запасы нефти в мире на начало 2023 г. составили 1 757 млрд

барр.

Наиболее развитым рынком нефти является рынок Азиатско-Тихоокеанского региона, его доля составляет 34 % мирового потребления, что обусловлено быстрым развитием экономик Китая и Индии и высоким спросом на все виды нефтепродуктов. Северная Америка занимает вторую позицию в рейтинге регионов по величине спроса на жидкие углеводороды. Доля Северной Америки составляет почти четверть (24 %) мирового рынка нефти. Регионом с самой низкой долей рынка – всего 4 % – является Африка, что связано с неразвитостью отраслей экономики в странах региона и отсутствием транспортного и перерабатывающего звеньев в цепи движения жидких углеводородов.

Среди стран крупнейшими потребителями углеводородов являются США, Китай и Россия, с объемами потребления на уровне 300, 160 и 60 млрд долларов соответственно.

По данным Минэкономразвития РФ, средняя цена на российскую эталонную нефть марки *Urals* в IV кв. 2024 г. составила 63,9 долл. США/барр., что ниже уровня III кв. 2024 г. на 7,8 %.

С 1 января 2025 г. в России изменился подход к расчету средней цены нефти *Urals* для целей налогообложения. Стоимость российской нефти будет определяться не в европейских зарубежных портах, а в российских западных и восточных портах.

Построение эконометрической модели, основывающейся на использовании ряда индикаторов (запасы, уровень добычи нефти, спрос на нефть, показатели макроэкономики, последние геополитические события), позволяет ожидать,

что прогноз роста мирового спроса на нефть в первом квартале 2025 г. составит 0,3 млн барр./сут., а далее начнется превышение предложения до 0,9 млн барр./сут. на конец 2025 г. За Китаем, по прогнозу, остается роль ведущего источника экономического роста, но со значительно меньшими темпами, чем были ранее. По прогнозу, возрастет роль Индии и других развивающихся стран региона. Продолжится структурный спад, а с ним и падение спроса на нефть в странах ОЭСР.

Ожидается увеличение предложения нефти до 104,5 млн барр./сут., при этом основная часть прироста придется на страны, не входящие в ОПЕК+, с поправкой на условие, что страны ОПЕК+ сохраняют свои добровольные ограничения на добычу. Половина роста придется на США. Остальной прирост придется на Бразилию (+1,2 млн барр./сут.), Гайану (+0,8 млн барр./сут.), Канаду (+0,5 млн барр./сут.) и Норвегию (+0,4 млн барр./сут.).

Список литературы

1. Особенности и тенденции развития мирового рынка вооружений и военной техники / Е.Ю. Злобина, Э.Ф. Галямова // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 3. – С. 118–120.
2. Официальный сайт ОПЕК [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.opec.org/opec_web/en/21.htm.
3. Официальный сайт Statista [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.statista.com>.

References

1. Osobennosti i tendentsii razvitiya mirovogo rynka vooruzheniy i voyennoy tekhniki / Ye.YU. Zlobina, E.F. Galyamova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 3. – S. 118–120.
2. Ofitsial'nyy sayt OPEC [Electronic resource] – Access mode : https://www.opec.org/opec_web/en/21.htm.
3. Ofitsial'nyy sayt Statista [Electronic resource] – Access mode : <https://www.statista.com>.

© О.Е. Данилин, Э.Ф. Галямова, А.В. Аношин, 2025

УДК 001.895

А.И. КУЗНЕЦОВ, И.В. МЕНЬШИКОВА

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет

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

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕПЦИЙ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ

Ключевые слова: алгоритм; инновации; инструменты; неопределенность; разработка.

Аннотация. В статье предлагается укрупненный алгоритм создания инновационных решений различного уровня сложности с использованием ряда методов, инструментов и фреймворков. Гипотезой исследования является предположение о том, что в условиях высокой неопределенности задачи создания инноваций следует прежде всего ориентироваться не на желаемый результат, а на совершенствование процедуры получения результата. Базой для алгоритма выступает концептуальная схема дизайн-мышления, дополненная методами и приемами из инновационного менеджмента.

Актуальность

В настоящее время многие отечественные предприятия сталкиваются с проблемой выбора путей развития. Изменение рыночной ситуации, устаревание и деградация основных фондов, потеря знаний и компетенций, высокая неопределенность (изменчивость) технологий и потребительских предпочтений накладывают существенные ограничения и усложняют процесс выбора.

В связи с этим возникает вопрос, как именно подходить к вопросу создания инновационного решения, какие приемы и технологии использовать?

Предлагаемый подход

В качестве основы для разработки алгоритма воспользуемся подходом дизайн-мыш-

ления [1–3]. Основанием для такого выбора выступает схожесть области применения, характеризующейся высокой неопределенностью. Применительно к вопросу создания инноваций в организациях можно выделить следующие этапы.

1. Установление целей и приоритетов.

Этот этап формально выходит за рамки рассматриваемого процесса и является внешним по отношению к нему. Несмотря на это, его целесообразно включить в общий алгоритм, поскольку цели и приоритеты могут подвергаться корректировке по результатам действий, направленных на создание инноваций.

2. Проведение аудита.

Аудит направлен на выявление факторов, ресурсов, движущих сил, тенденций и расклада сил внутри компании/отрасли, в ближнем и дальнем окружении. Следует отметить, что основным ментальным ограничением для исследований выступает то, как определяется исследуемый бизнес: именно этот фактор диктует и устанавливает информационные фильтры при сборе и интерпретации данных. Поэтому этап проведения аудита может повторяться несколько раз с учетом новых взглядов и постановок, возникающих на более поздних этапах.

3. Фокусировка.

По результатам аудита возникает представление о наиболее серьезных проблемах и/или противоречиях, сдерживающих развитие бизнеса. На этапе фокусировки выбирается та зона, с которой будет происходить дальнейшая работа. Данный этап можно обозначить как ответ на вопрос, в какой из зон (внешней или внутренней по отношению к бизнесу) лежит сдерживающий фактор. Также этап фокусировки посвящен выбору желаемого временного горизонта, на котором будет происходить поиск решения.

Таблица 1. Концептуальный алгоритм разработки инновационного решения

	Этап	Инструмент	Результат
1	Цели и приоритеты	В качестве базовых инструментов выступают: миссия и видение; дерево целей компании; цели в формате Стратегической лестницы; парадигма бизнеса и отраслевая принадлежность	Дерево целей и стратегические горизонты в развитии компании. Уровень амбиций при поиске инноваций. Ожидаемая область и временной диапазон исследований
2	Аудит	Для проведения аудита широкой внешней рамки (экономической среды) используем: прогностические методы типа форсайта или футурологии; исследование стейкхолдеров; исследование движущих сил в отрасли; исследование различных групп потребителей с сегментацией по потребительским сценариям (концепция <i>JTBD</i>) [11]; исследование ценностных предложений с выделением ключевых факторов успеха и построением профилей предложений конкурентов (Голубой океан); исследование прямой, вторичной и непрямой конкуренции; исследование доминирующих логик создания ценности в выбранных отраслях и у выбранных конкурентов; построение системно-динамических моделей поведения экономических систем. Для проведения аудита в ближней внешней рамке: построение профилей клиентов; исследование трех уровней неклиентов (Голубой океан); исследование текущих продуктов и услуг по модели Кано; выявление точек боли и недовольства текущих клиентов; описание и исследование текущей бизнес-модели и ее ограничений; построение карт создания ценности в общей сети поставки ценности; использование модели пяти сил Портера и т.п. Для проведения аудита во внутренней рамке: аудит бизнес-процессов и компетенций; построение причинно-следственных карт возникновения проблем; анализ «узких мест» и др.; ретроспективный анализ решений и компетенций (аудит знаний и ресурсов)	Представления о рынках и клиентах в виде потребительских сценариев и работы пользователя, выявление трех типов конкуренции, выделение типовых бизнес-моделей в отрасли, выявление трендов и движущих сил, ожидаемые изменения в экономике, рынках и технологиях. Выявление несоответствий и возможностей
3	Фокусировка	Подведение итогов этапов 1–2: используя цели и приоритеты из этапа 1, ранжируем возможности и несоответствия, найденные на этапе 2. В качестве инструментария используют: визуализацию находок и проблем с использованием матриц (например, матрицы <i>BCG</i> , <i>GE</i> и др.); <i>SWOT</i> -анализ; различного рода портфельные анализы; экоцикл как инструмент диагностики; дизайн-мышление как способ постановки задачи	Приоритетные области и проблемы для решения. Ключевые вопросы, на которые необходимо найти ответ
4	Генерация идей	Инструментарий: мозговой штурм, структурированный мозговой штурм, синектика, морфологический поиск, ТРИЗ, шаблон ценностного предложения, шаблон бизнес-модели, другие визуальные шаблоны для обсуждений и совместной выработки идей и решений	Сформированные потенциальные ценностные предложения, а также поддерживающие их бизнес-модели. Установлена логическая связь между альтернативными и дополняющими бизнес-моделями

5	Отбор и приоритизация	Инструменты и методики: 10 типов инноваций, бизнес-логики, экоцикл, модель Кано, модель четырех действий, система показателей (например, система сбалансированных показателей), стратегическая карта, карта рисков, различные матрицы для селекции и ранжирования решений, метод анализа иерархий, экономическая оценка, экспертная оценка (различные процедуры)	Прототипы приоритетных решений с учетом их перспективности и обеспеченности ресурсами, как правило, в формате заполненных шаблонов бизнес-моделей
6	Тестирование	Инструменты и методики: PEST-анализ, 10 типов инноваций, форсайт, пилотный запуск, тестирование на потенциальных клиентах (различного рода антропологические и маркетинговые исследования), др.	Оценка предлагаемых решений с точки зрения достижения ценности, технической реализуемости, бизнес-эффективности и степени подверженности неопределенности и рискам
7	Корректировки	Доработка результатов с применением методик и приемов из соответствующего этапа. Общая схема работы описывается фреймворком «Дизайн-мышление»	Доработанное решение (как правило, в формате бизнес модели и ценностного предложения) или решение о возврате на один из предшествующих этапов алгоритма
8	Формирование плана развертывания	Инструменты: построение дорожной карты, построение системы BSC, организационные преобразования, схемы мотивации и т.д.	Укрупненный план реализации предложенных инноваций (организационных, маркетинговых, технологических или продуктовых)

4. Генерация идей.

Данный этап является одним из самых слабо структурированных во всем алгоритме: в рамках него происходят разрешение выявленного противоречия (или противоречий), нахождение возможных вариантов и путей решения задачи. Поиск решения сильно различается в зависимости от класса проблем. Если проблемы носят технический характер или относятся к подконтрольной области (например, к внутренним бизнес-процессам компании), т.е. в большей степени тяготеют к вопросу обеспечения эффективности и зоне определенности по фреймворку Каневин [4], то можно использовать достаточно традиционные методы от бенчмаркинга до ТРИЗ. Если же тип проблемы или противоречия больше связан с преодолением внешнего ограничения, т.е. тяготеет к вопросу обеспечения результативности и зоне высокой неопределенности по фреймворку Каневин, то задача усложняется и требует применения итерационных процедур с реализацией цикла «гипотеза – прототип – тестирование». Дополнительным моментом, определяющим подбор инструментов и методов, выступает аспект времени: в краткосрочной или долгосрочной перспективе требуется найти решение.

5. Отбор и приоритизация.

Этап Отбора посвящен сокращению числа гипотез, выводимых на этап тестирования. Суть данного этапа заключена в выработке критериев и правил фильтрации потенциальных решений. В качестве фундаментального принципа отбора для инновационных решений может использоваться принцип нахождения баланса между потенциальной выгодой (или перспективностью) предлагаемого решения и потенциальными рисками, которые его сопровождают. Довольно просто провести разграничение между зонами «высокая выгода и низкий риск» и «низкая выгода и высокий риск». Но самые большие сложности вызывает зона «высокая выгода и высокий риск» по отношению ко всем другим: не всегда можно с уверенностью сказать, насколько удачным будет принятое решение из данной категории. В качестве инструментария для принятия подобных решений может использоваться идея антихрупкости с двухуровневой стратегией штанги [5]: не оценки риска как такового, а управления «портфелем» идей за счет минимизации потенциальных потерь до приемлемого уровня.

6. Тестирование.

На этапе тестирования происходят про-

верка и стресс-тесты предложенных решений. Предложенные решения проходят проверку по трем направлениям: проверка востребованности (результативности), проверка технической и/или организационной осуществимости, проверка эффективности (в том числе и оценка соотношения выгод и рисков). Одним из аспектов в тестировании является оценка степени защиты предлагаемых решений от копирования: насколько быстро и легко другие участники рынка смогут воспроизвести подобное решение. На данном этапе важным моментом являются создание дизайна эксперимента, критериев успеха и провала, а также подготовка и проведение самого эксперимента.

7. Корректировки.

Это этап интерпретации результатов тестирования и внесение дополнений в предложенное решение или отказ от какой-либо гипотезы с возвратом на более ранние этапы алгоритма. С точки зрения процесса создания инноваций

это один из самых важных и сложных этапов, который описывается концепцией «креативное разрушение», которое активно ввел в обиход Й. Шумпетер [6] и использовал К. Кристенсен в своих работах [7–10], посвященных инновациям. В какой-то мере можно понимать данный этап как сходный с творческим этапом Генерации идей, но в более жестких ограничениях.

8. Формирование плана развертывания.

Данный этап посвящен созданию укрупненного плана развертывания – Дорожной карты (*Road Map*) – и направлен на устранение противоречий и разведения конкурирующих действий во времени. Также Дорожная карта может отражать сценарные варианты развития бизнеса и ключевые события-триггеры, переключающие с одного сценария на другой.

Подробное перечисление достигаемых результатов в рамках каждого из этапов, а также инструменты и методики, которые целесообразно использовать, приведены в табл. 1.

Список литературы

1. Михаэль Леврик. Дизайн-мышление. От инсайта к новым продуктам и рынкам / Михаэль Леврик, Патрик Линк, Ларри Лейфер. – СПб : Питер, 2020. – 320 с.
2. Оливер Кемпкенс. Дизайн-мышление. Все инструменты в одной книге / Оливер Кемпкенс. – М., Эксмо, 2019. – 224 с.
3. Шилехина, М.С. Дизайн-мышление как современный подход для создания инновационных продуктов / М.С. Шилехина // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2013. – № 4(26). – С. 181–183.
4. Snowden, D. Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness / D. Snowden // Journal of Knowledge Management. – 2002. – Vol. 6. – No. 2. – P. 100–111.
5. Талеб Нассим Николас. Антихрупкость. Как извлечь выгоду из хаоса / Талеб Нассим Николас. – М., Колибри, 2022. – 768 с.
6. Шумпетер, Й. Процесс «созидательного разрушения» / Й. Шумпетер // Капитализм, социализм и демократия : пер. с англ. / Предисл. и общ. ред. В.С. Автономова. – М. : Экономика, 1995.
7. Кристенсен, К.М. Дилемма инноватора: Как из-за новых технологий погибают сильные компании / К.М. Кристенсен. – М., Альпина Паблишер, 2016. – 239 с.
8. Кристенсен, К.М. Закон успешных инноваций: Зачем клиент «нанимает» ваш продукт и как знание об этом помогает новым разработкам / К.М. Кристенсен. – М., Альпина Паблишер, 2017. – 268 с.
9. Кристенсен, К.М. Менеджмент. Стратегии. HR: Лучшее за 2017 год: справочное пособие / К.М. Кристенсен. – М., Альпина Паблишер, 2017. – 194 с.
10. Кристенсен, К.М. Что дальше? Теория инноваций как инструмент предсказания отраслевых изменений / К.М. Кристенсен, Э. Скотт, Э. Рот. 3-е изд. – М., Альпина Паблишер, 2016. – 400 с.
11. Микрюков В.О. Применение подхода Jobs to Be Done в стратегическом маркетинге / В.О. Микрюков, М.М. Восканян, С.Э. Галаванова // In Situ. – 2022. – № 12. – С. 116–118.

References

1. Mikhael' Levrik. Dizayn-myshleniye. Ot insayta k novym produktam i rynkam / Mikhael'

Levrik, Patrik Link, Larri Leyfer. – SPb : Piter, 2020. – 320 s.

2. Oliver Kempkens. Dizayn-myshleniye. Vse instrumenty v odnoy knige / Oliver Kempkens. – M., Eksmo, 2019. – 224 s.

3. Shilekhina, M.S. Dizayn-myshleniye kak sovremennyy podkhod dlya sozdaniya innovatsionnykh produktov / M.S. Shilekhina // Vektor nauki Tol'yattinskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2013. – № 4(26). – S. 181–183.

5. Taleb Nassim Nikolas. Antikhrupkost'. Kak izvlech' vygodu iz khaosa / Taleb Nassim Nikolas. – M., Kolibri, 2022. – 768 s.

6. Shumpeter, Y. Protsess «sozidatel'nogo razrusheniya» / Y. Shumpeter // Kapitalizm, sotsializm i demokratiya : per. s angl. / Predisl. i obshch. red. V.S. Avtonomova. – M. : Ekonomika, 1995.

7. Kristensen, K.M. Dilemma innovatora: Kak iz-za novykh tekhnologiy pogibayut sil'nyye kompanii / K.M. Kristensen. – M., Al'pina Pabliher, 2016. – 239 s.

8. Kristensen, K.M. Zakon uspekhnykh innovatsiy: Zachem kliyent «nanimayet» vash produkt i kak znaniye ob etom pomogayet novym razrabotkam / K.M. Kristensen. – M., Al'pina Pabliher, 2017. – 268 s.

9. Kristensen, K.M. Menedzhment. Strategii. HR: Luchsheye za 2017 god: spravochnoye posobiye / K.M. Kristensen. – M., Al'pina Pabliher, 2017. – 194 s.

10. Kristensen, K.M. Chto dal'she? Teoriya innovatsiy kak instrument predskazaniya otraslevykh izmeneniy / K.M. Kristensen, E. Skott, E. Rot. 3-ye izd. – M., Al'pina Pabliher, 2016. – 400 s.

11. Mikryukov V.O. Primeneniye podkhoda Jobs to Be Done v strategicheskoy marketinge / V.O. Mikryukov, M.M. Voskanyan, S.E. Galavanova // In Situ. – 2022. – № 12. – S. 116–118.

© А.И. Кузнецов, И.В. Меньшикова, 2025

Abstracts and Keywords

M.G. Bashirov, G.S. Prokop, A.S. Kryshko

Improvement of the Educational and Research Complex Using a Genetic Algorithm

Keywords: genetic algorithm; intelligent tool; technological process improvement; tubular furnace; advanced control.

Abstract. The purpose of the study is to improve educational and research complexes simulating the production process. Artificial intelligence technologies, namely a genetic algorithm, are used to improve the existing complex. The genetic algorithm refers to intelligent tools, the development and application of which is an urgent task. The use of educational complexes in science makes it possible to transfer the obtained research results to real production facilities. As a result, software has been developed for configuring the PID controller using a genetic algorithm.

E.M. Bashirova, I.U. Nadyrgulov, V.E. Minibaev, A.A. Serebryakov

Development of a Pattern Recognition System for Remote Access of Electrosubstation

Keywords: face identification; artificial intelligence; neural network; machine learning; emergency situation recognition; FaceNet; MTCNN; Python.

Abstract. The purpose of this work is to develop a laboratory video surveillance bench with artificial intelligence implementation to gain skills in training and application of neural networks in recognizing fire, smoke, electric arcs and human face identification. The main objectives of the research are developing a digital twin for the training bench; training a neural network model for recognizing emergency situations; training a neural network model for face identification; analyzing the effectiveness of using artificial intelligence for pattern recognition, in order to implement this technology in the training process. The hypothesis of the study is that conducting laboratory works with the use of artificial intelligence will increase the effectiveness of the learning process. Research methods are the development of the system in the PyCharm programming environment in Python language using PySide6, TensorFlow, MTCNN, FaceNet, Keras libraries, preparation of training samples, training of neural network models, and model recognition quality evaluation. QtDesigner is used as a tool for creating the graphical interface. Results: programs for training neural networks and running the trained model to identify substation employees in real time and detect dangerous situations are developed; the efficiency of artificial intelligence application for object detection in the video camera image is investigated. The application of a system based on convolutional neural network for laboratory work during the educational process is proposed.

T.V. Bychkova, V.A. Pogonyshv, D.A. Pogonysheva, I.A. Mokshin

Mathematical Modeling of Oscillatory Processes for Coatings Applied by the FABO Method

Keywords: modeling; vibration; finishing anti-friction abrasive treatment (FABO); coating; vibration modeling; damping vibrations.

Abstract. The article discusses issues related to the development of a mathematical model of the oscillatory process occurring in the surface layer of a coating applied to a substrate. In the course of the research, a rod model of vibrations arising from an external longitudinal impact on the rod, when a wave of compression and stretching propagates along it, was constructed.

Nonlinear Population Diffusion

Keywords: population; predator; prey; stability; points of attraction; mathematical model.

Abstract. The influence of population density on the diffusion process of settlement of a territory is a complex process. The aim of the study is to provide a forecast of population options for the territory based on the nonlinear process of diffusion displacement of individuals. The mathematical model is represented by a nonlinear evolutionary equation that simulates the spread of a population in a territory. It is believed that the mobility of individuals depends on the population density. The heterogeneity of the habitat is taken into account in the boundary conditions, taking into account places unsuitable for survival. It is shown that the high mobility of individuals can lead to the disappearance of the population in the developed area. With low mobility of the population, it may not be possible to overcome areas that are unsuitable for habitation. Habitat heterogeneity and population density may be the reason for the disappearance of populations in habitats with a trophic resource.

I.V. Zaitseva, V.V. Bondar, O.N. Nikulina

Finding a Compromise Situation of Bidding in Different Sectors of the Economy

Keywords: model; problem; game theory; compromise solution.

Abstract. The article discusses a multi-step theoretical-game model of first-price bidding with the possible occurrence of corruption. In the game there is a finite number of customers who put up for auction each of their contracts, having its assessment and indicating the price, as well as a finite number of executing companies that indicate their prices, at which they are ready to fulfill the terms of the contract, having their estimates of costs. In the model, executing firms compete for contracts through first-price bidding. The model assumes that the bidder is corrupt and can influence the contract allocation process. The purpose of the work is to develop a mathematical model for finding a compromise situation for bidding in the economic sphere. Objectives of the work: formulation of a set of strategies for solving a problem, setting the conditions for the implementation of strategies, an algorithm for finding a compromise solution. The problem under consideration is studied and solved by the methods of game theory. A numerical example of finding a compromise solution is given.

S.V. Palmov, N.A. Demidov

Forecasting Time Series Using Recurrent Neural Networks: Model Development Based on Stock Price Data

Keywords: time series; forecasting; RNN; neural networks; stocks; machine learning; Python.

Abstract. This study aimed to test the hypothesis that recurrent neural networks (RNNs) with long short-term memory (LSTM) layers can be effectively used for short-term stock price forecasting. A mathematical model was implemented using normalized closing price data. The research encompassed the construction of time windows, network training, and testing on different datasets. Methods such as data normalization, cross-validation, hyperparameter tuning, regularization, and optimization using the Adam and RMSprop algorithms were applied, along with result visualization. The findings demonstrated high accuracy in short-term forecasts and model stability, supporting the validity of the proposed hypothesis.

A Comparative Analysis of Shortest Path Finding Algorithms

Keywords: path search; A* algorithm; Dijkstra algorithm; graph.

Abstract. This study investigates the efficiency of the A* and Dijkstra's algorithms implemented in the networkx library for finding the shortest path between graph nodes. The objective was to test the hypothesis regarding the accuracy and computational speed of these algorithms. Experiments were conducted using a dataset containing graph data to compare their operational principles and performance. Methods of comparative analysis and mathematical statistics were employed. Conclusions were drawn regarding the applicability of these algorithms for shortest path construction in various scenarios. The results demonstrate that both A* and Dijkstra algorithms provide high accuracy and speed in shortest path finding, confirming the hypothesis of their efficiency.

A.A. Saldaeva, V.Yu. Belash

The Development of a Chatbot for an Educational Platform

Keywords: bot; ICT; information technology; education; platform; chat.

Abstract. The purpose of the research is to design and create an educational information system using web technologies. The research hypothesis is to increase the effectiveness of the educational process and improve the information competence of students using the developed resource. Research methods are analysis of educational and scientific literature, computer modeling, and abstraction. Results are as follows: the implementation of an educational platform that will allow an unlimited number of people to work with educational materials to improve their knowledge in the field of ICT at any time.

O.M. Tarasov

Optimized Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Alternatives for a Number of Independent Indicators

Keywords: analytical hierarchy process; multicriteria choice; optimized choice.

Abstract. The purpose of research is to study the possibility of applying the analytic hierarchy process (AHP), proposed by Thomas Saati, for the optimized selection of an object understood as a system of interrelated elements. The research tasks are to combine the AHP and matrix theory for incorporating the initial data into the working optimization program; to give recommendations on compiling matrices of paired comparisons of both optimization indicators (criteria) and acceptable solutions.

The research hypothesis assumes that the increasing the possibility of raising the accuracy of multi-criteria optimized selection.

Methods for obtaining results are T. Saati's Analytic hierarchy process, and matrix theory.

The results are as follows: conjugation of AHP with the theory of matrices, raising the accuracy of optimized multi-criteria decision-making.

I.S. Zharov, O.I. Denisenko, S.R. Zyuganova

On the Issue Using Technical Tools in the Work of Dog Handlers in Institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia and units of the Ministry of Internal Affairs of Russia

Keywords: technical tools; technical training tools; navigator; clicker; electronic collar.

Abstract. The purpose of the study is to analyze the use of technical means in the work of dog handlers in institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia and units of the Ministry of

Internal Affairs of Russia. Research methods are the study of information sources, methods of analysis, generalization and comparison. It is revealed that a promising direction in the training and training of service dogs is the use of a technical tool – a clicker. It is proposed to work out the issue of making changes to the standards of eligibility for technical equipment used by dog handlers in institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia and units of the Ministry of Internal Affairs of Russia.

G.F. Shipulin, V.D. Yakovleva, D.A. Potapova, I.G. Vatutin

Analysis of the Effectiveness of the Combined Use of Block Cipher Algorithms and Error Correction Codes to Improve the Reliability of Data Transmission

Keywords: block encryption; error correction codes; cryptographic protection; data transmission reliability; information security.

Abstract. The article shows the relevance of the issues of using cryptographic protection tools in the context of ensuring the protection of transmitted data. The purpose of the study is to analyze the effectiveness of the combined use of block encryption algorithms and error correction codes in order to increase the reliability of data transmission. The research hypothesis suggests that problems of data transmission reliability are often caused by external factors (electromagnetic interference, equipment errors, etc.). Combining block encryption methods with error correction codes ensures both data protection during transmission and the ability to recover them if errors occur. The main tasks include analyzing existing block encryption methods and their impact on the degree of data security, investigating the properties and capabilities of error correction codes, and evaluating the effectiveness of a combined approach using block encryption algorithms and error correction codes in various data transmission scenarios. The results obtained as part of the experiment on the possibility and effectiveness of using a combined approach indicate a reduction in the loss of useful information in the data transmission channel when applying an error correction code before encryption, an increase in the average information transfer rate, as well as an increase in the system's resistance to "error analysis" attacks. The research methods are the synthesis and analysis of the use of cryptographic protection tools in data transmission.

S.P. Lysy, O.V. Snezhkina, V.S. Shvedova

Development of 3D Product Models in Engineering and Computer Graphics Classes

Keywords: drawing; 3D model; sketch; offset plane; graphic editor.

Abstract. The purpose of this article is to improve students' practical skills in developing 3D models of technical products in the Compass – 3D graphics editor in engineering and computer graphics classes. The main objectives of the research are to master practical techniques of working with the program; to develop 3D models of products in Compass – 3D based on the original drawings; to analyze errors made during the execution of tasks. It was suggested that during practical classes, students would be able to improve their level of training, analyze the graphic work of other participants, and minimize errors in the development of 3D models of technical products. The research was carried out using theoretical methods based on the principles of classical mechanics, mathematical analysis, synthesis, modeling, etc. According to the results of the practical classes, the students mastered the techniques of working with a graphic editor, 3D models of products in Compass – 3D were developed from the original drawings, and errors made during the tasks were analyzed. An analysis of the histogram of the results of practical exercises showed that when developing 3D models of technical products No. 1–3, the average quality indicator for completing tasks of varying degrees of complexity increased from 80 to 92 %.

Diagnostics of Centrifugal Pumping and Compressor Equipment with Variable Frequency Electric Drive

Keywords: diagnostics; centrifugal pumps; compressor equipment; variable frequency electric drive; design modernization; real-time monitoring.

Abstract. The paper considers a comprehensive approach to the diagnostics of centrifugal pump-compressor equipment with a variable frequency drive, which plays a key role in ensuring the reliable and efficient operation of oil pumping stations. The main goal of the study is to develop and implement advanced methods for diagnosing and maintaining pump-compressor equipment aimed at improving its reliability, operational efficiency, and reducing operational costs. The primary objectives include analyzing existing approaches to diagnostics and maintenance, investigating factors affecting equipment performance, and developing integrated solutions that leverage modern technological capabilities. The article analyzes various diagnostic methods, such as upgrading pump designs to reduce noise and vibration, utilizing real-time equipment condition monitoring, performing regular monitoring of pumps and their drives in challenging operational conditions, developing specialized procedures for removing asphaltene-resin-paraffin deposits, and applying machine learning algorithms to assess the technical condition of pipeline transport facilities. Particular attention is paid to the impact of the human factor and the need for continuous personnel training. The study's results demonstrate that the integrated application of these methods can significantly enhance diagnostic accuracy, extend equipment lifespan, reduce operational and maintenance costs, and minimize the risks of emergency situations.

L.S. Ovsyannikov, V.I. Rubtsov

Development of a Command Output Module Based on a Three-State Buffer

Keywords: data output; three-state buffer; UAV.

Abstract. The paper considers the development of a signal conversion module for creating an output cascade of commands for issuing control commands to an autonomous aerial vehicle. An algorithm for the operation of the signal conversion module has been developed, an electronic model has been compiled to confirm its operability, and its simulation has been performed under different climatic conditions, according to which the output signals lie in the required range. The study is useful for developing control subsystems and converting power signals and flight control signals.

I.S. Fomashin, V.I. Rubtsov

Planning the Trajectory of UAV during the Inspection of Construction Sites

Keywords: trajectory planning; stereo camera; trajectory target calculation; UAV; room inspection; map creation.

Abstract. The problem of planning the trajectory of a quadcopter, with the calculation of the next movement target, is considered as part of the overall task of inspecting construction sites, with the creation of a two-dimensional floor plan. Special attention is given to assessing the local and global environment of the UAV, in order to determine the direction of movement, in which the studied part of the space expands. Existing methods of trajectory planning are reviewed, a proprietary method is synthesized, and tested on a standard map of residential apartments. The results obtained confirm the viability of the method. This proposed solution can be applied in the development of autonomous UAVs or ground-based robots for the tasks of constructing indoor models.

N.V. Brizhinskaya, R.V. Romanov, K.A. Votyakov, V.P. Nazarov

The Use of Digital Twins in the Manufacture of Pipelines of Complex Spatial Shape in the Manufacture of Aircraft Engines

Keywords: automation; liquid rocket engine production; technological process.

Abstract. The manufacture and installation of pipelines for aircraft engines is a complex technological task associated with the placement of highways in a limited space due to the dense layout of the engine. Currently, this task requires a lot of manual labor and does not guarantee optimal configuration and proper product quality.

The article proposes a solution for automating the pipeline manufacturing process, aimed at improving productivity and product quality.

I.N. Khrustaleva, L.G. Chernykh, O.D. Uvarova, Ya.Yu. Brovkina

A Model of Multicriteria Optimization of the Structure and Parameters of Technological Transition

Keywords: multicriteria optimization; technological process; vector optimization criterion; technological transition; set-theoretical model.

Abstract. Optimization of the parameters of the product manufacturing process is one of the key tasks of technological preparation of production. The efficiency of optimization of the product manufacturing process directly depends on the level of its detailing and the optimal choice of target indicators and control parameters. The aim of the work is to develop a model for optimizing the parameters of a technological transition implemented in the process of manufacturing a product on metal-cutting equipment. The objectives of the study are to analyze the factors influencing the efficiency of the technological transition; to form a vector optimization criterion for the technological transition; to form a set-theoretic model of the technological transition. The paper presents a description of the vector criterion for optimizing the process of implementing the technological transition, as well as a set of control parameters and boundary conditions for implementing the model. A description of the set-theoretic model of the technological transition is presented.

A.H. Tsechoeva

Modernization of Material Processing Technology in the Technological Process

Keywords: Modernization; technological process; processing; equipment.

Abstract. The article will consider the methods of modernization of material processing in the technological process, tasks, hypothesis of the study, methods and achieved results as the goal.

The task is to assess the role and possibilities of using methods of modernization of material processing in the technological process.

A hypothesis is put forward that for the modernization of processing methods, it is necessary to improve and create highly efficient equipment. New modernized equipment will increase the reliability index and quality of manufactured products.

It is concluded that the improvement of technological processes is the basis for the development of modern production.

**Development of a Method for Diagnostics of Stress-Strain
State of Metal Structures Based on the Analysis of
Electromagnetic-Acoustic Signals**

Keywords: stress-strain state; electromagnetic-acoustic method; diagnostics of metal structures; static and cyclic loading; spectral analysis; neural networks; non-contact testing; metal microstructure; integral assessment parameters.

Abstract. The objective of the work is to develop a method for diagnosing the stress-strain state (SSS) of metal structures based on the analysis of electromagnetic-acoustic (EMA) signals. The tasks included experiments on static and cyclic loading of steel samples using an electromagnetic-acoustic transducer (EMAT), analysis of changes in the metal microstructure and their relationship with the parameters of EMA signals, development of integral parameters for assessing the state of the metal and a proposal to use neural networks to improve the accuracy of diagnostics. The research hypothesis assumed that changes in the SSS and damage affect the frequency characteristics of EMA signals, which allows them to be used to assess the state of the material. The methods included experiments with EMAT, spectral analysis, microstructure study and development of neural networks. As a result, a correlation was established between changes in the metal structure and the parameters of EMA signals, a diagnostic method was developed, the use of neural networks was proposed and the effectiveness of the method for contactless monitoring of the state of structures was confirmed.

A.Yu. Gankevich, V.V. Rozov, O.A. Chernyak

**Approaches to Forecasting the Technical Condition of
Lifting Facilities Based on Monitoring**

Keywords: technical operation system; statistical analysis; monitoring; characteristic number; residual operating life.

Abstract. The purpose of the article is to propose a new approach to monitoring and forecasting the technical condition of transshipment equipment based on an analysis of operational data. Research objectives include the development of a methodology for analyzing the technical condition of cranes based on monitoring data; justification of the use of a characteristic number and vibration diagnostics to predict failures. The hypothesis of the study is that it is advisable to use the value of the characteristic number as a measure of the remaining resource or operating time for failure. Monitoring in comparison with periodic diagnostics allows not only to predict failures, but also to identify the causes of their occurrence. The paper uses methods of statistical analysis, analysis of regulatory documentation, and case studies from production. As a result, the concept of interactive process monitoring is proposed.

D.A. Zabolotny, K.A. Khusainova, V.V. Zakurdaev, A.S. Shcherbakov

**Modernization of the Automatic Control System of the
Centrifugal Compressor of the Atmospheric Air Compression Unit to
Increase the Level of Technospheric Safety**

Keywords: technosphere safety; compression; safety system; regulating authority; automation; reliability.

Abstract. The relevance of the study is related to ensuring technospheric safety during atmospheric air compression in the petrochemical industry. Despite the absence of direct environmental risks, the process is fraught with man-made threats such as high pressures and leaks. The use of automated monitoring systems makes it possible to quickly identify deviations and prevent accidents, increasing safety. The introduction of a cascade control system improves resistance to variable loads, and the installation of control valves and sensors ensures a quick response to parameter changes. The use of

modern software tools increases technosphere safety, optimizes the process and minimizes risks for personnel and equipment, ensuring stable operation of the production process.

Ph.O. Fadeev, A.Yu. Ganshkevich, N.M. Stoyantsov

Methods for Assessing the Technical Condition of Port Infrastructure in the Context of Digital Transformation

Keywords: digital transformation; hoisting and transportation machines; vibration diagnostics; photogrammetry.

Abstract. The article is devoted to the analysis of methods for assessing the technical condition of port infrastructure objects in the context of digital transformation. Modern approaches to diagnostics of port facilities (lifting and transporting machines) by vibration diagnostics and photogrammetry are discussed. The results of simulation modeling of the mechanism with operational damages, increasing the quality of defects diagnostics, are presented. Also the results of practical application of photogrammetry for estimation of deformations of elements of steel structures of hoisting facilities are presented.

M.N. Belaya, E.F. Barieva, S.L. Gavrisenko, E.M. Nalbandyan

Justification for the Development of a Procedure for Calibration of Laboratory Electronic Scales

Keywords: electronic laboratory scales; calibration; the highest weighing limit; the lowest weighing limit; uncertainty; evaluation; verification.

Abstract. The article substantiates the relevance of calibration of laboratory electronic scales in order to develop a procedure and methodology for their calibration. The purpose of the article is to substantiate the need to develop a calibration procedure for laboratory electronic scales. To achieve this goal, it is necessary to solve a number of tasks: to analyze the features of laboratory electronic scales; to define and describe the main stages of estimation of measurement uncertainty. The hypothesis of the study is the possibility of laboratories providing reliable and objective information when measuring laboratory electronic scales. Scientific methods used in this article: analysis, generalization and synthesis. The main result of the work is the formation of the main stages of estimation of measurement uncertainty during calibration of laboratory electronic scales.

D.A. Berezhnov, A.A. Kirillina, E.I. Lvova, A.P. Pesterev

Analysis of Medical Examinations of Employees in the Water Supply and Sewerage Sector: A Case Study of the Joint Stock Company "Vodokanal"

Keywords: labor safety; safety; technosphere safety; medical examination; occupational diseases.

Abstract. The aim of the study is to reveal the risk groups of formation of professional diseases of employees of the enterprises of the water supply and sewage system and to exemplify Joint-stock company "Vodokanal". This study included tasks to conduct the analysis of coverage for medical examinations of employees from 2021 to 2023, to make a gradation of employees into risk groups depending on age and working conditions, to give recommendations on approaches to the management in assessing occupational risk at this organization. The primary hypothesis assumes that in hazardous conditions (influencing physical overloads, noise, and chemical exposure) all employees will be classified in to a risk group for occupational diseases. Statistical analysis, correlation analysis and causal analysis are used as research methods. The data suggest the greatest risk exists mostly in physically demanding departments (RMW and RCU) and that employees born during the 1960s and 1970s are at the highest risk. The findings support the hypothesis for the association of working conditions, ages, and occupational risks.

M.Yu. Knyazev

Status and Perspectives of Organizing Import Substitute Production and Supply Chains: The Case Of Benzoic Acid Market Analysis

Keywords: benzoic acid; market; supply chain; production in Russia; forecast until 2030; import substitution.

Abstract. The purpose of the study is to assess the prospects for organizing small-scale production of benzoic acid (BA) in Russian Federation and creating supply chains for this important import-substituting chemical product. The main objectives of the study include analyzing the state of the domestic BA market over the past five years (from 2019 to 2024) and forecasting its development until 2030. The research hypothesis assumes that organizing BA production in the Russian Federation will meet the growing demand for this product in various industries and will gradually replace the appropriate imported products. The research methods are based on searching for and analyzing data on benzoic acid production, export and import volumes, major importers, consumption volumes by main areas of use, price dynamics, as well as forecasting the rate of demand and assessing the structure of BA consumption by areas of use for the period up to 2030. The results of the analysis give evidence of the market activity and growing demand for BA, which indicates high prospects for creating a domestic import-substituting production of this relevant product.

M.Yu. Knyazev

Investigation of Prospects for Organizing Sodium Benzoate Production on the Basis of Russian Industry

Keywords: sodium benzoate; Russian market analysis; consumption patterns; production organization; forecast until 2030.

Abstract. The purpose of the study is a comprehensive analysis of prospects of organizing production of sodium benzoate (SB) in Russia based on the domestic chemical industry. The research is aimed at assessing the current state of the SB market, forecasting the dynamics of its consumption up to 2030 and substantiating the need to create domestic production for import substitution. The main objectives of the study are to analyze the domestic BN market for the period of 2019–2024 and forecast its development until 2030. The hypothesis of the study suggests that the growing demand for BN, especially from socially important industries such as food industry, requires the development of domestic production of this chemical to reduce import dependence and ensure technological independence of the country. The research methods include statistical analysis of data on production, import, consumption of BN, forecast of demand dynamics based on current trends in the development of consumer industries, an assessment of economic feasibility of various BN production technologies. The results of the analysis show the relevance of creating domestic SB production. According to the forecast, the volume of BN consumption in Russia may reach 5 670 tonnes by 2030, which is 30 % higher than in 2023. At the same time, the average annual import price of the product is expected to be \$1.4/kg. The food industry remains the dominant sphere of consumption (about 80 %), while there is an increase in demand in the perfume and cosmetics goods and pulp and paper industry. It is recommended to use the method of benzoic acid saponification with an alkaline agent as the most economically efficient procedure for industrial SB production.

M.A. Nazarenko, S.A. Nazarov

Application of Methods for Analyzing and Optimizing Design Processes in the Electronics Industry to Improve Product Quality

Keywords: product quality; design processes; optimization; electronics industry; analysis; modeling.

Abstract. The purpose of the study is to develop methods for analyzing and optimizing design

processes in the electronics industry aimed at improving product quality. Research methods are analysis, systematization, modeling, expert assessments, and forecasting. Research results are as follows: methods for analyzing and optimizing design processes are proposed, allowing to improve product quality by minimizing errors and improving process manageability.

E.A. Frolova, P.S. Zaitsev

The methodology of Automation and Digitalization of the Pre-Production Stage to Ensure the Quality of Processes in the Manufacture of Electronic Products

Keywords: automation; digitalization; radio electronic products; printed circuit boards; pre-production processes; DFM analysis; CAM systems; circuit board automatic assembly line; quality assurance.

Abstract. The article presents methods for automating the pre-production processes of the life cycle of electronic products. The purpose of the study is to reduce the time required for DFM analysis and adjustments to the topology of printed circuit boards, as well as to ensure the quality of the life cycle processes of radioelectronic products. The hypothesis of the study is that the application of the methodology will reduce the time for analyzing and correcting the topology and ensure the quality of processes. Research methods are DFM analysis, CAM350 functions. The results of the study show that the time of pre-production processes has been reduced, as well as the number of inconsistencies during topology analysis and adjustment.

L.Z. Khasanova, I.V. Moreva

Risk Analysis in the Organization of the Water Treatment Process at Optical Products Manufacturing Enterprises

Keywords: risk analysis; auxiliary production; «failure tree»; risk assessment matrix; maintenance of the main production; organization of the water treatment process; risk assessment.

Abstract. The article discusses the problems of organizing water treatment, one of the most important auxiliary processes in industrial enterprises for the production of optical products. The aim of the work is to identify indicators with the highest risk level in the operation of water purification systems used in optical products manufacturing enterprises and to develop measures to reduce the risk of negative consequences. To achieve this goal, a number of tasks were solved, including the construction and analysis of a “failure tree”, the identification of possible malfunctions of purification systems operating on the principle of ion exchange, the assessment of risks arising from the operation of water purification equipment, and the development of measures to reduce the likelihood of their occurrence. The hypothesis of the study is that the implementation of preventive measures and changing approaches to the choice of water treatment systems will allow organizing the water treatment process with minimal risks of negative consequences. The logical-graphical method of analyzing the “failure tree” was used in the work. The indicators with the highest risk level have been identified, and a set of necessary measures and a different approach to choosing water treatment systems have been proposed to minimize them.

V.M. Nikonorov

Diabetes and Food Costs

Keywords: number of patients with diabetes; deflator; autoregression; Gaussian noise; growth rate; residue emissions.

Abstract. The aim of the study is to investigate the dependence of the number of patients with diabetes on food costs. Objectives are to collect reliable statistics on food costs and the number of patients with diabetes; assess the association between the number of people with diabetes and food costs;

predict the dynamics of the number of patients with diabetes. Methods are conversion of nominal values into real values, and Box – Jenkins method. As a result, the relationship between the number of diabetics and food costs was obtained.

A.A. Glazovskaya, N.A. Gasratova

Assessment of Regional Potential for Treating ARVI

Keywords: assessment of regional potential; treatment accessibility ratio; comparative analysis; availability of medical care; ARVI.

Abstract. The aim of this study is to assess the potential of the regions of the UK, Kazakhstan and Russia in ensuring the availability of treatment for acute respiratory viral infection (**ARVI**). The paper presents a treatment availability coefficient linking the average cost of a treatment protocol and the average per capita income of the population. Based on the data obtained, the regions are classified into categories. Particular attention is paid to identifying leading regions, regions with promising development, as well as problem regions requiring additional state and business support. The results of the study highlight the differences in treatment availability in different regions and countries, which makes it possible to form priority areas of state and regional health policy.

E.F. Galiamova, A.V. Anoshin, O.E. Danilin

Development of Small and Medium-Sized Businesses in the European Union Countries

Keywords: state support for entrepreneurship; European Union; small business; small and medium-sized enterprises; SMEs.

Abstract. The article deals with the peculiarities of SME development in the countries of the European Union. It analyzes the key indicators of SME development in individual EU countries. Special attention is paid to statistical data characterizing the situation of SMEs in different EU countries. The aim of the study is to show the place of SMEs in the European economy, to identify the problems of development in the light of recent developments in the world and geopolitics. Among the objectives of the study are: to study the dynamics of SME indicators; to identify the most successful examples of small business development in the EU countries. Research methods are analysis, generalization, comparison, and statistical methods of data processing. It is concluded that SMEs in the EU should take a leading position in radical changes, SME development policy should be embedded in the EU policy.

O.E. Danilin, E.F. Galiamova, A.V. Anoshin

The World Oil Market: Trends and Prospects

Keywords: oil production; oil reserves; world oil market; OPEC; oil consumption; forecast; oil demand.

Abstract. The article considers the key trends in the development of the world oil market. It analyzes the dynamics of world proven reserves, production, and consumption of oil by individual regions and countries of the world. The central place in the study is given to the latest trends and factors affecting the forecast of key indicators. The purpose of the study is to determine the prospects for the development of the oil market, to make a forecast of demand for oil. The objectives include: studying the dynamics of oil industry indicators; identifying the main conjuncture-forming factors and the degree of their influence on the parameters and indicators of the world oil market; forecasting oil demand taking into account key macroeconomic indicators. Research methods: statistical methods of data processing, construction of econometric model for the purpose of forecasting. Research result: the oil market will be characterized by stabilization of demand and a slight increase in production.

**A Generalized Algorithm for Using Concepts and Tools
To Create an Innovative Solution**

Keywords: innovation; development; algorithm; tools; uncertainty.

Abstract. The article proposes a consolidated algorithm for creating innovative solutions of varying levels of complexity using a number of methods, tools, and frameworks. The hypothesis of the study is that in conditions of high uncertainty in the task of creating innovations, one should, first of all, focus not on the desired result, but on improving the procedure for obtaining the result. The basis for the algorithm is the conceptual scheme of design thinking, supplemented by methods and techniques from innovation management.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ List of Authors

М.Г. БАШИРОВ доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования и автоматизации промышленных предприятий Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: eapp@yandex.ru	M.G. BASHIROV Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Electrical Equipment and Automation of Industrial Enterprises of the Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat E-mail: eapp@yandex.ru
Г.С. ПРОКОП студент Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: pgs2001@mail.ru	G.S. PROKOP Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat E-mail: pgs2001@mail.ru
А.С. КРЫШКО студент Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: kargina.anastasiya2017@yandex.ru	A.S. KRYSHKO Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat E-mail: kargina.anastasiya2017@yandex.ru
Э.М. БАШИРОВА кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и автоматизации промышленных предприятий Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: bashirova-elmira@yandex.ru	E.M. BASHIROVA Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Electrical Equipment and Industrial Automation, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat E-mail: bashirova-elmira@yandex.ru
И.У. НАДЫРГУЛОВ магистрант Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: nadyrgulovilnyr@gmail.com	I.U. NADYRGULOV Master's Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Oil Technological University (branch), Salavat E-mail: nadyrgulovilnyr@gmail.com
В.Э. МИНИБАЕВ магистрант Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: minibaev09.07.2001@mail.ru	V.E. MINIBAEV Master's Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Oil Technological University (branch), Salavat E-mail: minibaev09.07.2001@mail.ru

А.А. СЕРЕБРЯКОВ магистрант Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: starosta.ugntu.djarti@gmail.com	A.A. SEREBRYAKOV Master's Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Oil Technological University (branch), Salavat E-mail: starosta.ugntu.djarti@gmail.com
Т.В. БЫЧКОВА кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматизации, физики и математики Брянского государственного аграрного университета, с. Кокино E-mail: tanyabychkova@mail.ru	T.V. BYCHKOVA Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Automation, Physics and Mathematics of the Bryansk State Agrarian University, Kokino E-mail: tanyabychkova@mail.ru
В.А. ПОГОНЫШЕВ доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации, физики и математики Брянского государственного аграрного университета, г. Брянск E-mail: pog@bgsha.com	V.A. POGONYSHEV Doctor of Engineering, Professor, Department of Automation, Physics and Mathematics of the Bryansk State Agrarian University, Bryansk E-mail: pog@bgsha.com
Д.А. ПОГОНЫШЕВА доктор педагогических наук, профессор кафедры информатики, информационных систем и технологий Брянского государственного аграрного университета, г. Брянск E-mail: dpogonysheva32@mail.ru	D.A. POGONYSHEVA Doctor of Education, Professor, Department of Computer Science, Information Systems and Technologies, Bryansk State Agrarian University, Bryansk E-mail: dpogonysheva32@mail.ru
И.А. МОКШИН магистрант Брянского государственного аграрного университета, г. Брянск E-mail: imokshin_1998@mail.ru	I.A. MOKSHIN Master's Student of the Bryansk State Agrarian University, Bryansk E-mail: imokshin_1998@mail.ru
А.Б. ГОНЧАРОВА кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительных методов механики деформируемого тела Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург E-mail: goncharovaab@yandex.ru	A.B. GONCHAROVA Candidate of Science (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Computational Methods of Mechanics of Deformable Solids, St. Petersburg State University, St. Petersburg E-mail: goncharovaab@yandex.ru
Е.П. КОЛПАК доктор физико-математических наук, профессор кафедры вычислительных методов механики деформируемого тела Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург E-mail: petrovich_pmpu@mail.ru	E.P. KOLPAK Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Computational Methods of Mechanics of Deformable Solids, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg E-mail: petrovich_pmpu@mail.ru

Н.А. ГАСРАТОВА кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительных методов механики деформируемого тела Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург E-mail: n.gasratova@spbu.ru	N.A. GASRATOVA Candidate of Science (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Computational Methods of Mechanics of Deformable Solids, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg E-mail: n.gasratova@spbu.ru
И.В. ЗАЙЦЕВА кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой высшей математики и физики Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru	I.V. ZAYTSEVA Candidate of Science (Physics and Mathematics), Head of Department of Higher Mathematics and Physics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg E-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru
В.В. БОНДАРЬ кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой математического анализа, алгебры и геометрии Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь E-mail: viktori-bondar@yandex.ru	V.V. BONDAR Candidate of Science (Physics and Mathematics), Head of the Department of Mathematical Analysis, Algebra and Geometry, North Caucasus Federal University, Stavropol E-mail: viktori-bondar@yandex.ru
Н.О. НИКУЛИНА кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, управления и информационных технологий Невинномысского государственного гуманитарно-технического института, г. Невинномысск E-mail: olgapivneva-026@yandex.ru	N.O. NIKULINA Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Economics, Management and Information Technology, Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute, Nevinnomyssk E-mail: olgapivneva-026@yandex.ru
С.В. ПАЛЬМОВ кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики; доцент кафедры информатики и вычислительной техники Самарского государственного технического университета, г. Самара E-mail: s.palmov@psuti.ru	S.V. PALMOV Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics; Associate Professor, Department of Informatics and Computer Engineering, Samara State Technical University, Samara E-mail: s.palmov@psuti.ru
Н.А. ДЕМИДОВ студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара E-mail: danv9471@gmail.com	N.A. DEMIDOV Student, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara E-mail: danv9471@gmail.com
И.С. ЯНГАЗОВ студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара E-mail: ismail.yangazov@yandex.ru	I.S. YANGAZOV Student, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara E-mail: ismail.yangazov@yandex.ru

Д.Д. ЗАБАЛКАНСКИЙ студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара E-mail: danilzab2017@gmail.com	D.D. ZABALKANSKIY Student, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara E-mail: danilzab2017@gmail.com
А.А. САЛДАЕВА магистрант Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского, г. Калуга E-mail: saldaevaaa@studklg.ru	A.A. SALDAEVA Master's Student, Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky, Kaluga E-mail: saldaevaaa@studklg.ru
В.Ю. БЕЛАШ кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики и информационных технологий Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского, г. Калуга E-mail: mininavy@tksu.ru	V.YU. BELASH Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Computer Science and Information Technologies, Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky, Kaluga E-mail: mininavy@tksu.ru
М.О. ТАРАСОВ кандидат технических наук, доцент Высшей школы компьютерных технологий и интеллектуальных систем Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург E-mail: tom.01.1959@yandex.ru	M.O. TARASOV Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Higher School of Computer Technologies and Intelligent Systems of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: tom.01.1959@yandex.ru
И.С. ЖАРОВ кандидат технических наук, доцент кафедры специальной техники и информационных технологий Владимирского юридического института Федеральной службы исполнения наказаний России, г. Владимир E-mail: viaduc@mail.ru	I.S. ZHAROV Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Special Equipment and Information Technology, Vladimir Law Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Vladimir E-mail: viaduc@mail.ru
О.И. ДЕНИСЕНКО старший преподаватель кафедры уголовно-правовых дисциплин Самарского юридического института Федеральной службы исполнения наказаний России, г. Самара E-mail: suisamara@yandex.ru	O.I. DENISENKO Senior Lecturer, Department of Criminal Law Disciplines, Samara Law Institute, Federal Penitentiary Service of Russia, Samara E-mail: suisamara@yandex.ru
С.Р. ЗЮГАНОВА курсант Владимирского юридического института Федеральной службы исполнения наказаний России, г. Владимир E-mail: sofazuganova@yandex.ru	S.R. ZYUGANOVA Student, Vladimir Law Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Vladimir E-mail: sofazuganova@yandex.ru
Г.Ф. ШИПУЛИН кандидат юридических наук, доцент кафедры защиты информации МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: podumai_nad@mail.ru	G.F. SHIPULIN Candidate of Law, Associate Professor, Department of Information Security, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: podumai_nad@mail.ru

В.Д. ЯКОВЛЕВА преподаватель МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: lerayakovleva58@gmail.com	V.D. YAKOVLEVA Lecturer, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: lerayakovleva58@gmail.com
Д.А. ПОТАПОВА преподаватель МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: potapova.daria1998@ya.ru	D.A. POTAPOVA Lecturer, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: potapova.daria1998@ya.ru
И.Г. ВАТУТИН специалист МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: ivanvaiutin860@gmail.com	I.G. VATUTIN Specialist, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: ivanvaiutin860@gmail.com
С.П. ЛЫСЫЙ кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза E-mail: lisy.sergey2018@yandex.ru	S.P. LYSY Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics of Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza E-mail: lisy.sergey2018@yandex.ru
О.В. СНЕЖКИНА кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru	O.V. SNEZHKINA Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru
В.С. ШВЕДОВА старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза E-mail: veraadinokowa@yandex.ru	V.S. SHVEDOVA Senior Lecturer, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics of Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza E-mail: veraadinokowa@yandex.ru
Н.А. ХИСАМОВ аспирант Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа E-mail: nail.hisamov@bk.ru	N.A. KHISAMOV Postgraduate Student, Ufa State Oil Technological University, Ufa E-mail: nail.hisamov@bk.ru
О.И. НЕДЕЛЬЧЕНКО кандидат филологических наук, доцент Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа E-mail: olama80@yandex.ru	O.I. NEDELCHENKO Candidate of Science (Philology), Associate Professor, Ufa State Oil Technological University, Ufa E-mail: olama80@yandex.ru
Л.С. ОВСЯННИКОВ магистрант Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: Leonid.ovsyannikov@yandex	L.S. OVSYANNIKOV Master's Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: Leonid.ovsyannikov@yandex

В.И. РУБЦОВ кандидат технических наук, доцент кафедры робототехнических систем и мехатроники Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: rubtsov@mail.ru	V.I. RUBTSOV Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: rubtsov@mail.ru
И.С. ФОМАШИН магистрант Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: i.fomashin@yandex.ru	I.S. FOMASHIN Master's Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: i.fomashin@yandex.ru
Н.В. БРИЖИНСКАЯ аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: karabonceva@mail.ru	N.V. BRIZHINSKAYA Postgraduate Student, M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk E-mail: karabonceva@mail.ru
Р.В. РОМАНОВ аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: hondacivicek@rambler.ru	R.V. ROMANOV Postgraduate Student, M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk E-mail: hondacivicek@rambler.ru
К.А. ВОТЯКОВ аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: kirillvotyakov_96@mail.ru	K.A. VOTYAKOV Postgraduate Student, M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk E-mail: kirillvotyakov_96@mail.ru
В.П. НАЗАРОВ профессор Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: nazarov@sibsau.ru	V.P. NAZAROV Professor, Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: nazarov@sibsau.ru
И.Н. ХРУСТАЛЕВА кандидат технических наук, доцент Высшей школы машиностроения Санкт-Петербургского политехнического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: irina.khrustaleva@mail.ru	I.N. KHRUSTALEVA Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Higher School of Mechanical Engineering, St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: irina.khrustaleva@mail.ru
Л.Г. ЧЕРНЫХ кандидат технических наук, доцент Высшей школы машиностроения Санкт-Петербургского политехнического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: 2904180@mail.ru	L.G. CHERNYKH Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Higher School of Mechanical Engineering, St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: 2904180@mail.ru

О.Д. УВАРОВА ассистент Высшей школы машиностроения Санкт-Петербургского политехнического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: uvarova_od@spbstu.ru	O.D. UVAROVA Assistant, Higher School of Mechanical Engineering, St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: uvarova_od@spbstu.ru
Я.Ю. БРОВКИНА старший преподаватель Высшей школы машиностроения Санкт-Петербургского политехнического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: brovkina_yayu@spbstu.ru	YA.YU. BROVKINA Senior Lecturer, Higher School of Mechanical Engineering, St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: brovkina_yayu@spbstu.ru
А.Х. ЦЕЧОЕВА кандидат технических наук, доцент Ингушского государственного университета, г. Магас E-mail: aminat_cechoeva@mail.ru	A.KH. TSECHOEVA Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Ingush State University, Magas E-mail: aminat_cechoeva@mail.ru
В.О. ДРАЦКИЙ студент Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: v.dratskiy0311@gmail.com	V.O. DRATSKIY Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat E-mail: v.dratskiy0311@gmail.com
А.И. МУРТАЗИНА студент Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават E-mail: murtazina.adeliya@bk.ru	A.I. MURTAZINA Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat E-mail: murtazina.adeliya@bk.ru
А.Ю. ГАНШКЕВИЧ кандидат технических наук, доцент кафедры водных путей, портов и портового оборудования Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: gansalex@mail.ru	A.YU. GANSHKEVICH Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Waterways, Ports and Port Equipment of the Russian University of Transport, Moscow E-mail: gansalex@mail.ru
В.В. РОЗОВ аспирант, ассистент кафедры водных путей, портов и портового оборудования Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: zavlabrozov@gmail.com	V.V. ROZOV Postgraduate Student, Assistant, Department of Waterways, Ports and Port Equipment of the Russian University of Transport, Moscow E-mail: zavlabrozov@gmail.com
О.А. ЧЕРНЯК магистрант Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: oachernyak01@mail.ru	O.A. CHERNYAK Master's Student, Russian University of Transport, Moscow E-mail: oachernyak01@mail.ru
Д.А. ЗАБОЛОТНЫЙ магистрант Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа E-mail: zb.dmitry@yandex.ru	D.A. ZABOLOTNY Master's Student, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa E-mail: zb.dmitry@yandex.ru

К.А. ХУСАИНОВА магистрант Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа E-mail: kamilochka146@gmail.com	K.A. KHUSAINOVA Master's Student, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa E-mail: kamilochka146@gmail.com
В.В. ЗАКУРДАЕВ магистрант Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа E-mail: vzakurdaev2002@mail.ru	V.V. ZAKURDAEV Master's Student, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa E-mail: vzakurdaev2002@mail.ru
А.С. ЩЕРБАКОВ кандидат исторических наук, доцент кафедры промышленной безопасности и охраны труда Уфимского государственного нефтяного тех- нического университета, г. Уфа E-mail: Shcherbakovas@rusoil.net	A.S. SHCHERBAKOV Candidate of Science (History), Associate Professor, Department of Industrial Safety and Labor Protection, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa E-mail: Shcherbakovas@rusoil.net
Ф.О. ФАДЕЕВ аспирант, ассистент кафедры водных путей, портов и портового оборудования Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: fadeew.filipp@mail.ru	PH.O. FADEEV Postgraduate Student, Assistant, Department of Waterways, Ports and Port Equipment of the Russian University of Transport, Moscow E-mail: fadeew.filipp@mail.ru
Н.М. СТОЯНЦОВ аспирант Российского университета транс- порта, г. Москва E-mail: fadeew.filipp@mail.ru	N.M. STOYANTSOV Postgraduate Student, Russian University of Transport, Moscow E-mail: fadeew.filipp@mail.ru
М.Н. БЕЛАЯ кандидат технических наук, доцент кафедры техногенной безопасности и метрологии Се- вастопольского государственного университе- та, г. Севастополь E-mail: belaya_079@mail.ru	M.N. BELAYA Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technogenic Safety and Metrology, Sevastopol State University, Sevastopol E-mail: belaya_079@mail.ru
Е.Ф. БАРИЕВА старший преподаватель кафедры техногенной безопасности и метрологии Севастопольско- го государственного университета, г. Севасто- поль E-mail: elena_gens@mail.ru	E.F. BARIEVA Senior Lecturer, Department of Technogenic Safety and Metrology, Sevastopol State University, Sevastopol E-mail: elena_gens@mail.ru
С.Л. ГАВРИСЕНКО аспирант Севастопольского государственного университета, г. Севастополь E-mail: slgavrisenko@sevsu.ru	S.L. GAVRISENKO Postgraduate Student, Sevastopol State University, Sevastopol E-mail: slgavrisenko@sevsu.ru
Э.М. НАЛБАНДЯН аспирант Севастопольского государственного университета, г. Севастополь E-mail: eduard.nalbandyan.99@mail.ru	E.M. NALBANDYAN Postgraduate Student, Sevastopol State University, Sevastopol E-mail: eduard.nalbandyan.99@mail.ru

Д.А. БЕРЕЖНОВ аспирант Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск E-mail: thecameleck@gmail.com	D.A. BEREZHNOV Postgraduate Student, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk E-mail: thecameleck@gmail.com
А.А. КИРИЛЛИНА старший преподаватель кафедры техносферной безопасности Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск E-mail: aa.kirillina@yandex.ru	A.A. KIRILLINA Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk E-mail: aa.kirillina@yandex.ru
Е.И. ЛЬВОВА ведущий специалист по охране труда АО «Водоканал», г. Якутск E-mail: evdokiyaLvova@mail.ru	E.I. LVOVA Leading Occupational Safety Specialist, Vodokanal JSC, Yakutsk E-mail: evdokiyaLvova@mail.ru
А.П. ПЕСТЕРЕВ кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск E-mail: pesterev.a@mail.ru	A.P. PESTEREV Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Department of Technosphere Safety, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk E-mail: pesterev.a@mail.ru
М.Ю. КНЯЗЕВ Кандидат экономических наук, старший научный сотрудник кафедры логистики и управления Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань E-mail: diskmy20242026@gmail.com	M.YU. KNYAZEV Candidate of Science (Economics), Senior Researcher, Department of Logistics and Management, Kazan National Research Technological University, Kazan E-mail: diskmy20242026@gmail.com
М.А. НАЗАРЕНКО кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: nazarenko@mirea.ru	M.A. NAZARENKO Candidate of Science (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Electronics, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: nazarenko@mirea.ru
С.А. НАЗАРОВ аспирант МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: sergeyqw@yandex.ru	S.A. NAZAROV Postgraduate Student, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: sergeyqw@yandex.ru
Е.А. ФРОЛОВА доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой Института фундаментальной подготовки и технологических инноваций Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург E-mail: frolova_ea@guap.ru	E.A. FROLOVA Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of Department, Institute of Fundamental Training and Technological Innovations, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg E-mail: frolova_ea@guap.ru

П.С. ЗАЙЦЕВ ассистент кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург E-mail: wwwpeter98@list.ru	P.S. ZAITSEV Assistant Lecturer, Department of Innovation and Integrated Quality Systems, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg E-mail: wwwpeter98@list.ru
Л.З.ХАСАНОВА магистрант Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева, г. Казань E-mail: xasanova_89@bk.ru	L.Z.KHASANOVA Master's Student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan E-mail: xasanova_89@bk.ru
И.В.МОРЕВА кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева, г. Казань E-mail: moreva70@mail.ru	I.V. MOREVA Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Economics and Management at the Enterprise of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan E-mail: moreva70@mail.ru
В.М. НИКОНОВ кандидат экономических наук, доцент Высшей школы бизнес-инжиниринга Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург E-mail: nikanorv@mail.ru	V.M. NIKONOROV Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Higher School of Business Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: nikanorv@mail.ru
А.А. ГЛАЗОВСКАЯ магистрант Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург E-mail: st087992@student.spbu.ru	A.A. GLAZOVSKAYA Master's Student, St. Petersburg State University, St. Petersburg E-mail: st087992@student.spbu.ru
Э.Ф. ГАЛЯМОВА кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики Удмуртского государственного университета, г. Ижевск E-mail: galiamova@mail.ru	E.F. GALIAMOVA Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Economics, Udmurt State University, Izhevsk E-mail: galiamova@mail.ru
А.В. АНОШИН кандидат экономических наук, директор Института экономики и управления Удмуртского государственного университета, г. Ижевск E-mail: ieu@uni.udm.ru	A.V. ANOSHIN Candidate of Science (Economics), Director, Institute of Economics and Management, Udmurt State University, Izhevsk E-mail: ieu@uni.udm.ru
О.Е. ДАНИЛИН кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики Удмуртского государственного университета, г. Ижевск E-mail: olegdanilin51@mail.ru	O.E. DANILIN Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Economics, Udmurt State University, Izhevsk E-mail: olegdanilin51@mail.ru

А.И. КУЗНЕЦОВ

кандидат экономических наук, доцент кафедры промышленной логистики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва

E-mail: Kuznetsov.bmstu@gmail.com

A.I. KUZNETSOV

Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

E-mail: Kuznetsov.bmstu@gmail.com

И.В. МЕНЬШИКОВА

аспирант Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва

E-mail: Kuznetsov.bmstu@gmail.com

I.V. MENSHIKOVA

Postgraduate Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

E-mail: Kuznetsov.bmstu@gmail.com

ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ
SCIENCE AND BUSINESS: DEVELOPMENT WAYS
№ 3(165) 2025
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 23.03.2025 г.
Формат журнала 60×84/8
Усл. печ. л. 28,76. Уч.-изд. л. 12,85.
Тираж 1000 экз.